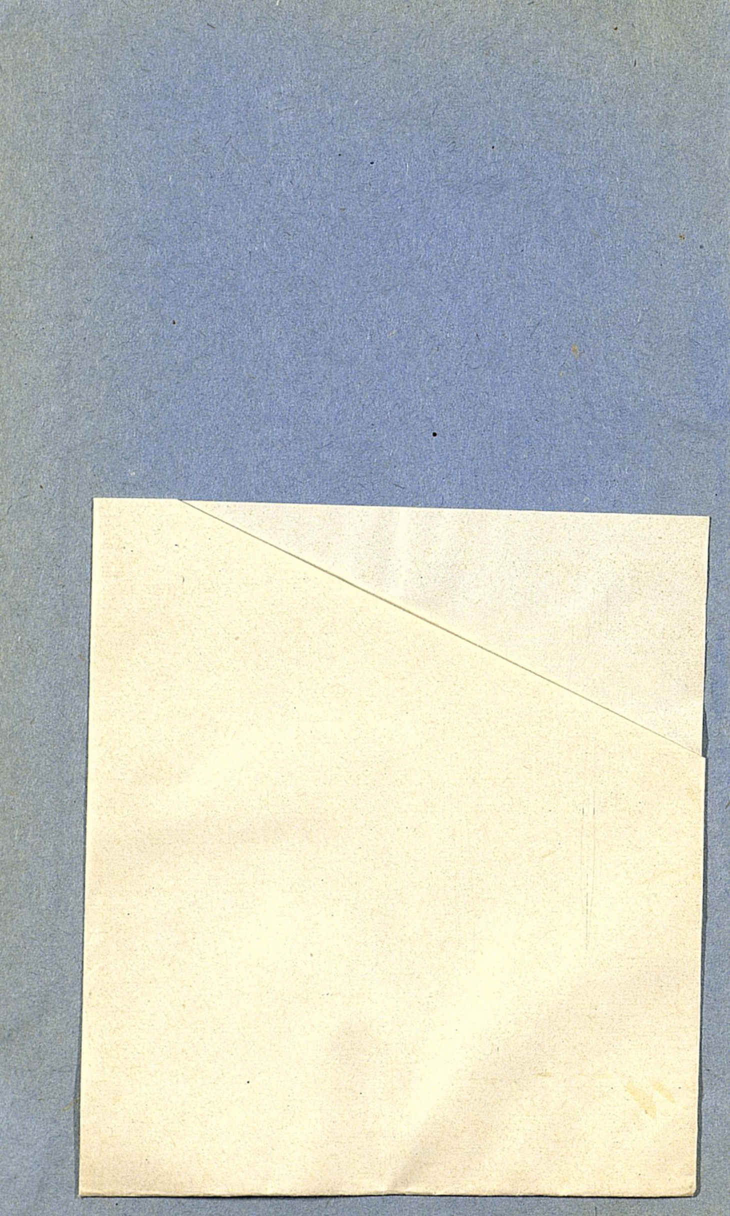

Рб 3/195



ЗВУКЪ

РЯДЪ

ПРОСТЫХЪ, ЗАНИМАТЕЛЬНЫХЪ И НЕДОРОГИХЪ ОПЫТОВЪ

ИМѢЮЩИХЪ ПРЕДМЕТОМЪ ЯВЛЕНІЯ ЗВУКА

ДЛЯ ВСѢХЪ ВОЗРАСТОВЪ.

Альфреда Маршалля Майера

СЪ 60 РИСУНКАМИ.

ПЕРЕВОДЪ СЪ АНГЛІЙСКАГО

М. А. Антоновича



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Изданіе Л. Ѳ. Пантелѣева.
1881.

ВО ВСѢХЪ КНИЖНЫХЪ МАГАЗИНАХЪ

продаются

ИЗДАНІЯ Л. Ф. ПАНТЕЛѢЕВА.

съ 1877—1881 гг.

Р. К.

Гексли и Мартинъ. Практическія работы по Ботаникѣ и Зоологіи, пер. А. Я. Герда 1 25

Книга эта признана Уч. Ком. М. Н. Пр. «полезнымъ учебнымъ пособіемъ для реальныхъ училищъ и учительскихъ институтовъ».

А. Я. Гердъ. Учебникъ Зоологіи для среднеучебныхъ заведеній и самообразованія.

1-я часть. Безпозвоночныя; съ 239 рисунками въ текстѣ. 2 —

Уч. Ком. М. Н. Пр. постановилъ: «одобрить оную въ качествѣ учебнаго пособія для реальныхъ училищъ, учительскихъ институтовъ, семинарій и для основныхъ и ученическихъ библіотекъ и гимназій».

2-я часть Позвоночныя, 1-й в. съ 58 рис. въ текстѣ. . — 60

Смайльсъ Исторія Шотландскаго натуралиста Т. Эдварда, пер. С. И. Смирновой. . . . . 1 —

Уч. Ком. М. Н. Пр. постановилъ: «допустить ее въ ученическія библіотеки гимназій, прогимназій, реальныхъ училищъ и женскихъ гимназій, преимущественно для старшаго возраста».

Учеб. Ком. IV отдѣл. Соб. Е. И. В. Канц. «положилъ рекомендовать Истор. Шотл. Нат. Т. Эдварда для чтенія воспитанницъ въ среднихъ и старшихъ классахъ институтовъ и женскихъ гимназій».

Ф. Ф. Эрисманъ Гигіена умственнаго и физическаго труда (Профессіональная гигіена) . . . . 2 —

Тэтъ. О новѣйшихъ успѣхахъ физическихъ знаній пер. подъ ред. И. М. Сѣченова; съ 24 рисунками въ текстѣ 2 50

Бальфуръ и Фостеръ. Основанія Эмбріологіи. пер подъ ред. проф. О. А. Гримма . . . . 2 —

Гейки. Учебникъ физической географіи, пер. А. Я. Герда; съ 78 рис. въ текстѣ и 10 картами въ приложеніи . . . . 2 —

Тоже для учебныхъ заведеній и воспитанниковъ оныхъ. 1 70

Ф. Ф. Эрисманъ. Общедоступная гигіена 1 75

Тоже—на веленевой бумагѣ. . . . . 2 —

Общедоступный Космосъ. Роско, Изъ чего составлена земля. - Локаеръ, Почему таковъ составъ земли. — Уильямсонъ, Послѣдовательность жизни на землѣ; съ 50 рис. въ текстѣ 1 25

ЗВУКЪ

РЯДЪ

ПРОСТЫХЪ, ЗАНИМАТЕЛЬНЫХЪ И НЕДОРОГИХЪ ОПЫТОВЪ

ИМѢЮЩИХЪ ПРЕДМЕТОМЪ ЯВЛЕНІЯ ЗВУКА

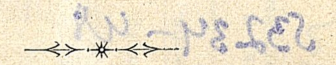
ДЛЯ ВСѢХЪ ВОЗРАСТОВЪ.

Альфреда Маршалля Майера

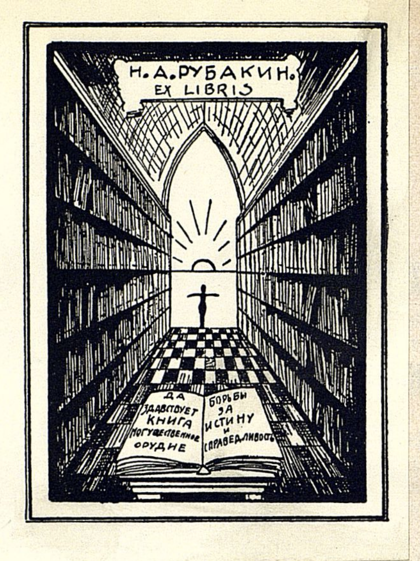
СЪ 60 РИСУНКАМИ

ПЕРЕВОДЪ СЪ АНГЛІЙСКАГО

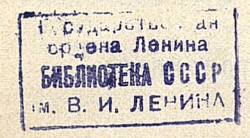
М. А. Антоновича.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Изданіе Л. Ѳ. Пантелѣева.
1881.



Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 28 Апрѣля 1881 г.


Государственная
ордена Ленина
БИБЛИОТЕКА СССР
им. В. И. ЛЕНИНА
53234-48


2010515362

Типографія Товарищ. «Общественная Польза», Б. Подъяч., д. № 39.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

Глава I. Введеніе 1
Глава II. О порядкѣ опытовъ въ этой книгѣ 11
Глава III. Природа звука 13
Глава IV. О природѣ вибраціонныхъ движеній. 16
Глава V. Причина звука состоитъ въ вибраціяхъ твердаго. жидкаго или газообразнаго тѣла 49
Глава VI. О распространеніи звуковыхъ вибрацій по тѣламъ твердымъ и жидкимъ и по газамъ, вродѣ воздуха . . 61
Глава VII. О скорости распространенія звуковыхъ вибрацій и о томъ, какъ они распространяются по упругимъ тѣламъ 73
Глава VIII. Объ интерференціи звуковыхъ вибрацій и о толчкахъ звука 87
Глава IX. Объ отраженіи звука 99
Глава X. О высотѣ звуковъ 101
Глава XI. Объ образованіи гаммы 112
Глава XII. Опыты съ сонометромъ дающимъ тоны гаммы и гармоническіе тоны 117
Глава XIII. О силѣ (напряженности) звуковъ 124
Глава XIV. О со-вибраціяхъ или созвучаніяхъ. 125
Глава XV. Измѣненія высоты звука вибрирующихъ тѣлъ, производимыя ихъ движеніемъ 129
Глава XVI. О качествѣ звуковъ 130
Глава XVII. Анализъ и синтезъ звуковъ 133
Глава XVIII. О томъ, какъ мы говоримъ и о говорящихъ машинахъ Фабера и Эдисона. 150
Глава XIX. Гармонія и дисгармонія. Краткое объясненіе, почему нѣкоторые тоны, звуча вмѣстѣ, производятъ пріятное впечатлѣніе. 160

ЗВУКЪ.

ГЛАВА I.

Введенiе.

Знать, какимъ образомъ происходятъ различные звуки въ природѣ и въ музыкѣ; понимать дѣйствiе механизмовъ, которые находятся въ нашей гортани и ушахъ и посредствомъ которыхъ мы говоримъ и слышимъ; умѣть объяснить причину различныхъ тоновъ разныхъ музыкальныхъ инструментовъ; знать, почему извѣстные тоны, звуча вмѣстѣ, даютъ гармонiю, между тѣмъ какъ другiе тоны производятъ диссонансъ; — всѣ эти знанiя очень цѣнны, любопытны и интересны. Обо всѣхъ указанныхъ предметахъ вы можете прочитать въ книгахъ, но лучше всего самому изучать ихъ, производя опыты (эксперименты); потому что эти опыты лучше чѣмъ книги скажутъ вамъ о причинѣ и природѣ звуковъ.

Произвести опытъ значитъ привести извѣстныя вещи въ отношенiе съ извѣстными другими вещами съ цѣлью узнать, какъ они дѣйствуютъ другъ на друга. Поэтому опытъ есть узнаванiе.

Цѣль настоящей книги та, чтобы показать вамъ, какимъ образомъ вы можете устроить для себя физическiе аппараты изъ дешевыхъ и обыкновенныхъ матерiаловъ и чтобы помочь вамъ сдѣлаться экспериментаторомъ. Уча-

щійся долженъ терпѣливо и со вниманіемъ произвести каждый опытъ въ указанномъ порядкѣ, потому что всѣ опыты расположены здѣсь такимъ образомъ, что каждый изъ нихъ ведетъ къ производству и пониманію слѣдующаго за нимъ. Если въ первый, во второй и даже въ третій разъ опытъ не удастся, то этимъ не нужно смущаться и падать духомъ, потому что самые опытные и даровитые экспериментаторы часто терпѣли неудачи, и однако же своими экспериментами они сдѣлали великія открытія въ наукѣ, потому что имѣли терпѣніе и настойчивость и обладали искуствомъ и знаніемъ. Не падайте духомъ, и вы сдѣлаетесь искуснымъ экспериментаторомъ.

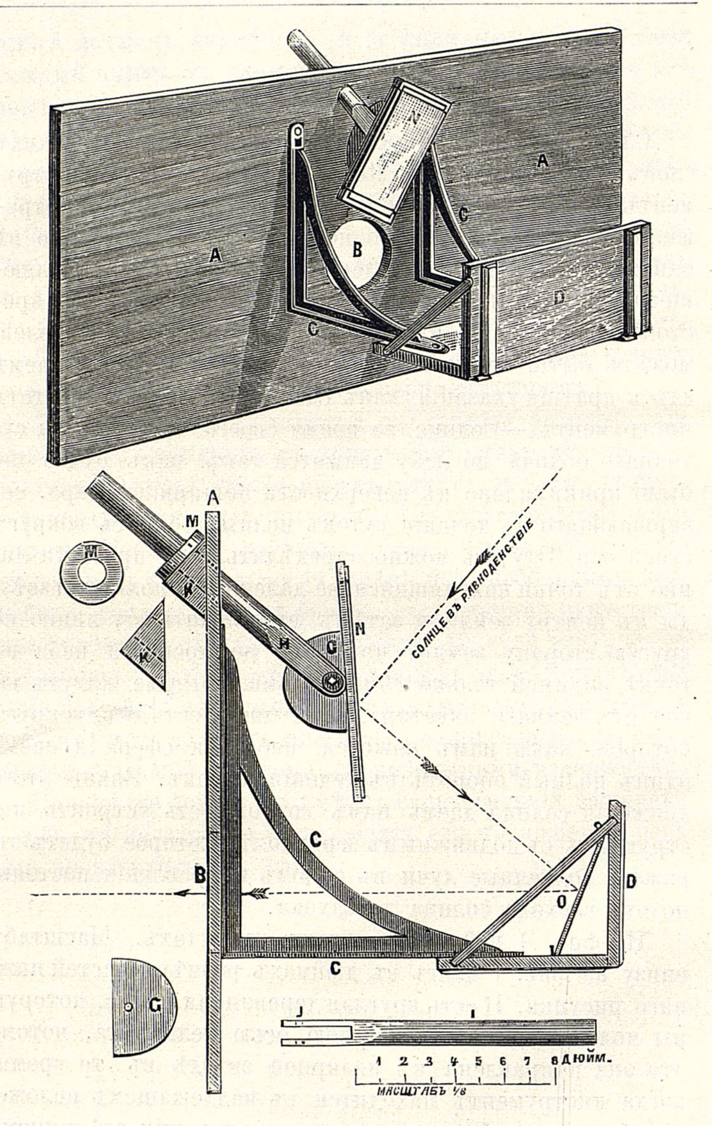
При производствѣ опытовъ вы можете работать или одни или въ компаніи съ пріятелями, такъ что въ послѣднемъ случаѣ многіе могутъ видѣть, что вы дѣлаете и помогать вамъ при опытахъ. Для производства опытовъ въ большихъ размѣрахъ, такъ чтобы всѣ присутствующіе въ комнатѣ могли видѣть ихъ, необходимъ волшебный фонарь. А такой фонарь, съ хорошимъ искуственнымъ свѣтомъ, стоитъ очень дорого; но если взять водяной фонарь и геліостатъ, описанный въ первой книгѣ этой серіи, о „Свѣтѣ“ и воспользоваться солнечнымъ свѣтомъ, то можно будетъ показать многіе изъ нашихъ опытовъ надъ звукомъ большой компаніи съ небольшими издержками.

Однако же фонарь не имѣетъ существенной важности и если вы не желаете употреблять его, то можете и безъ него производить всѣ опыты.

Геліостатъ.

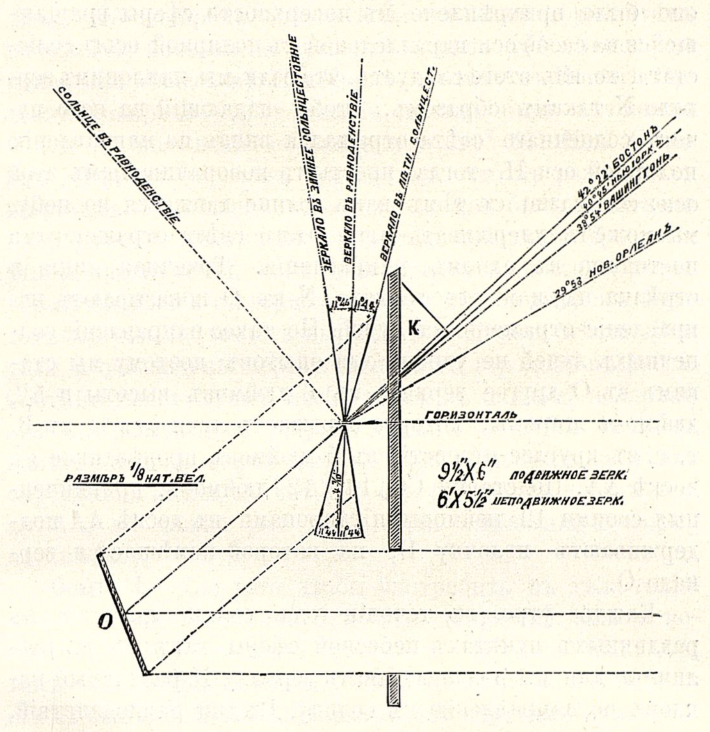
Слово „геліостатъ" составлено изъ двухъ греческихъ словъ, helios—солнце и statos—стояніе. Этотъ инструментъ названъ такъ потому, что онъ удерживаетъ отраженный пучокъ лучей солнечнаго свѣта постоянно въ одномъ и томъ же направленіи. Въ „Свѣтѣ", составляющемъ первую книгу этой серіи, мы дали описаніе простого геліостата; но такъ какъ нѣкоторые изъ читателей, можетъ быть, не имѣютъ этой книги, то мы сдѣлаемъ здѣсь краткія указанія, какъ сдѣлать и употреблять этотъ инструментъ.—Солнце во время своего кажущагося суточнаго обхода по небу движется такъ, какъ будто оно было прикрѣплено къ поверхности обширнаго шара, совершающаго въ теченіи сутокъ полный оборотъ вокругъ своей оси. Эту ось можно опредѣлить, если провести линію отъ точки находящейся не далеко отъ полярной звѣзды къ центру земли и затѣмъ продолжить эту линію по другую сторону земли, пока она не коснется неба въ точкѣ видимой только тѣми людьми, которые живутъ къ югу отъ земнаго экватора. Эта линія есть ось, вокругъ которой, какъ намъ кажется, небесная сфера дѣлаетъ одинъ полный оборотъ въ теченіи сутокъ. Знаніе этого движенія солнца даетъ намъ возможность устроить инструментъ съ подвижнымъ зеркаломъ, которое будетъ отражать солнечные лучи въ одномъ направленіи постоянно отъ восхода солнца до захода.

На фиг. 1 и 2 представленъ геліостатъ. Масштабъ внизу на фиг. 1 даетъ въ дюймахъ размѣръ частей нижняго рисунка. H есть круглая деревянная палка, которую мы можемъ назвать полярною осью геліостата, потому что она направлена къ полярной звѣздѣ въ то время, когда инструментъ находится въ надлежащемъ положеніи. Эта ось свободно вращается въ отверстіи сдѣланномъ


A
A
B
C
C
D
N
A
M
M
K
K
H
G
N
СОЛНЦЕ ВЪ РАВНОДЕНСТВІЕ
C
B
O
D
C
G
J
I
1 2 3 4 5 6 7 8 ДЮЙМ.
МАСШТАБЪ 1/8

Фиг. 1.

въ доскѣ АА и во втулкѣ К. Деревянное кольцо М, надѣтое на ось и прикрѣпленное къ ней, упирается во втулку и такимъ образомъ не даетъ оси скользить внизъ. На концѣ оси обозначенномъ Н сдѣлана вырѣзка, въ которую вставленъ и можетъ вращаться въ ней на продѣтомъ



Фиг. 2.

сквозь нее стержнѣ деревянный полукругъ G, привинченный сзади къ доскѣ, имѣющей на себѣ спереди зеркало N, какъ это показано на рисункѣ. Это подвижное зеркало прикрѣпляется къ доскѣ или шнуркомъ или резиновыми кольцами. Зеркало должно быть изъ посеребрен-

наго стекла, а не изъ обыкновеннаго зеркальнаго стекла. Какъ показано на чертежѣ 2, оно должно имѣть $9\frac{1}{2}$ дюймовъ длины и 6 дюймовъ ширины.

Такъ какъ солнце во время своего кажущагося суточнаго прохожденія по небу движется такъ, какъ будто бы оно было прикрѣплено къ поверхности сферы вращающейся на своей оси параллельной съ полярной осью геліостата, то изъ этого слѣдуетъ, что если мы наклонимъ зеркало N такимъ образомъ, чтобы падающій на него пучокъ солнечнаго свѣта отражался внизъ по направленію полярной оси H, тогда простымъ поворачиваніемъ этой оси, сообразно съ тѣмъ какъ солнце движется по небу, мы можемъ удерживать лучи этого свѣта отраженными постоянно въ одномъ направленіи. Точечная линія и стрѣлка идущая отъ зеркала N къ O показываютъ направленіе отраженныхъ лучей. Но такое направленіе солнечныхъ лучей не удобно для опытовъ; поэтому мы ставимъ въ O другое зеркало въ 6 дюймовъ высоты и $5\frac{1}{2}$ дюймовъ ширины, которое отражаетъ лучи отъ O къ B, т. е. въ круглое отверстіе въ 5 дюймовъ прорѣзанное въ доскѣ AA. Подставки CC, 14×12 дюймовъ, привинченныя своими 12 дюймовыми сторонами къ доскѣ AA поддерживаютъ полочку D, на которой помѣщается зеркало O.

Каждое утро, въ теченіи года, солнце является въ различныхъ пунктахъ небесной сферы, такъ что въ различные дни мы должны давать зеркалу N различный наклонъ по направленію къ солнцу. Въ дни равноденствій, т. е. 9 марта и 9 сентября, лучи падаютъ подъ прямымъ угломъ къ оси H, какъ показано на фиг. 1 и 2, и зеркало въ фиг. 1 имѣетъ наклонъ, какой долженъ быть въ эти дни. На фиг. 2 зеркалу даны наклоны для дней зимняго и лѣтняго солнцестоянія.

По мѣрѣ того какъ мы подвигаемся на сѣверъ, напр. въ Бостонъ, полярная звѣзда поднимается на большую

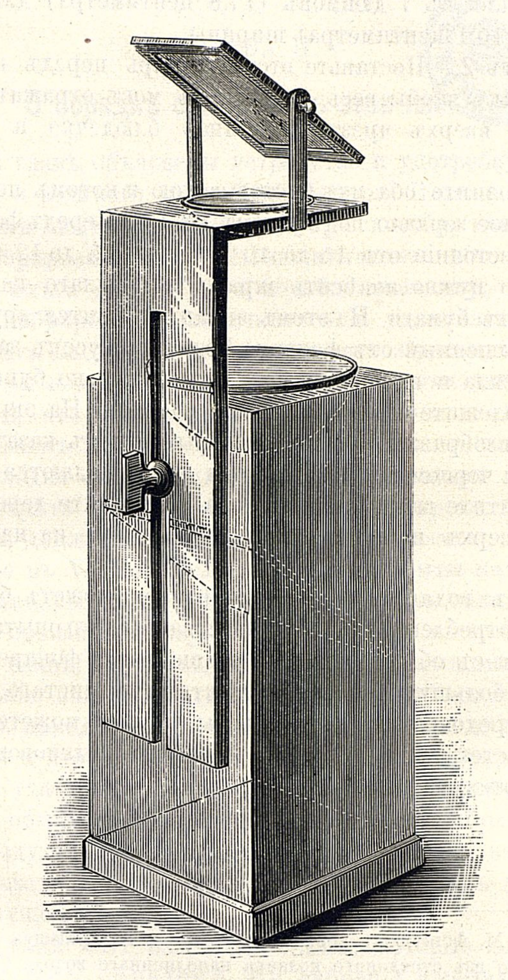
высоту надъ горизонтомъ, такъ что ось нашего геліостата въ Бостонѣ должна быть менѣе наклонена, т. е. быть ближе къ отвѣсному направленію, чѣмъ въ Нью-Іоркѣ и имѣетъ положеніе обозначенное „42° 22' Бостонъ". Подвигаясь же къ югу, напр. въ Новый Орлеанъ, мы увидимъ, что полярная звѣзда является надъ горизонтомъ на высотѣ, которая на четверть меньше той высоты, на какой она стоитъ въ Нью-Іоркѣ; поэтому въ Новомъ Орлеанѣ полярная ось геліостата должна быть наклонена внизъ въ положеніе обозначенное „29° 58' Нов. Орлеанъ". Такимъ образомъ мы видимъ, что въ различныхъ широтахъ ось нашего геліостата должна быть наклонена подъ разными углами къ горизонтальной линіи. Для того, чтобы инструментъ могъ дѣйствовать правильно, уголъ убразуемый имъ съ горизонтальной линіей долженъ быть тотъ же самый, какимъ выражается широта мѣста. Эти углы и обозначены передъ названіемъ городовъ въ фиг. 2. Соотвѣтственно этимъ измѣненіямъ въ наклонѣ полярной оси для различныхъ широтъ должны дѣлаться такія-же измѣненія и въ формѣ втулки К; и если сначала вѣрно опредѣлена линія, по которой ось проходитъ черезъ доску АА, то можно уже легко дать надлежащую форму втулкѣ К.

Опытъ 1.—Для того чтобы употребить въ дѣло геліостатъ, нужно отворить окно выходящее на югъ и поставить между боковыми планками его рамы доску АА, такъ чтобы зеркала находились внѣ комнаты, а полярная ось въ комнатѣ. Потомъ одѣяломъ или платками нужно покрыть незакрытую часть окна надъ доской АА, такъ чтобы свѣтъ нигдѣ не проникалъ въ комнату и входилъ-бы только черезъ отверстіе В. Затѣмъ подвижное зеркало поворачивается къ солнцу и наклоняется такъ, чтобы идущій отъ него лучъ отражался отъ подвижнаго зеркала О въ горизонтальномъ направленіи и подъ прямымъ угломъ къ доскѣ АА. Если окно выходитъ какъ разъ на югъ, то геліо-

статъ будетъ дѣйствовать вполнѣ исправно. Если-же окно выходитъ не прямо на югъ, то нужно поворачивать доску АА бокомъ, пока она не станетъ какъ разъ на югъ, и если при этомъ образуется отверстіе между доской АА и рамой окна, то его нужно закрыть дощечкой.

Водяной волшебный фонарь.

На фиг. 3 представленъ деревянный ящикъ, внутри котораго подъ угломъ въ 45° помѣщено зеркало, поддерживаемое деревянными планками прикрѣпленными къ стѣнкамъ ящика. Сторона ящика противоположная зеркалу открыта. Въ крышкѣ ящика сдѣлано круглое отверстіе въ 5 дюймовъ (12,7 центиметровъ) въ діаметрѣ. Въ этомъ отверстіи находится полусферическое стекляное блюдечко, вмѣсто котораго можетъ служить верхушка круглаго стеклянаго колпака. Сзади ящика находится подвижная доска, сверху которой прикрѣплена горизонтальная полка. Въ доскѣ сдѣлана длинная прорѣзь и при помощи болта съ гайкою прикрѣпленнаго сзади ящика ее можно закрѣпить на какой угодно высотѣ. Эта доска имѣетъ 16 дюймовъ (40,6 центиметра) длины, 5 дюймовъ (12,7 центиметра) ширины и $^3/_4$ дюйма (19 миллиметровъ) толщины. Полка же имѣетъ 7 дюймовъ (17,8 центиметра) длины и 5 дюймовъ (12,7 центиметра) ширины, и въ центрѣ ея прорѣзано отверстіе въ $3^1/_4$ дюйма (8,3 центиметра) въ діаметрѣ. Къ задней сторонѣ ящика прикрѣплена входящая въ прорѣзь планка, служащая направляющей линейкой при подниманіи и опусканіи доски имѣющей наверху полку. Въ отверстіе полки помѣщается большое часовое стекло или мелкое стекляное блюдечко около 4 дюймовъ (101 центиметровъ) въ діаметрѣ. Вмѣсто его можно взять плоско-выпуклую чечевицу. По обѣимъ сторонамъ полки находятся двѣ деревянныя стойки и на винтахъ проходящихъ сквозь нихъ вращает-



Фиг. 3.

ся зеркало въ 7 дюймовъ (17,8 центиметра) длины и 4 дюйма (10,1 центиметра) ширины.

Опытъ 2.—Поставьте этотъ фонарь передъ геліостатомъ, такъ чтобы весь лучъ свѣта могъ отражаться отъ зеркала вверхъ чрезъ стекляное блюдечко и часовое стекло *).

Наполните оба ихъ чистою водою и потомъ поставьте подвижное зеркало подъ угломъ въ 45°. Передъ фонаремъ и на разстояніи отъ 15 до 40 футовъ (4,5 до 12,4 метра) отъ него нужно повѣсить экранъ изъ бѣлаго каленкора или листъ бумаги. На этомъ экранѣ появится кругъ свѣта отброшенный отъ фонаря. Возьмите кусокъ закопченнаго стекла и начертите на немъ нѣсколько буквъ, а затѣмъ положите его на водяную чечевицу. На экранѣ появится изображеніе буквъ, которыя будутъ казаться бѣлыми на черномъ фонѣ. Если они представляются не ясно, то отвинтите гайку сзади ящика и двигайте деревянную доску вверхъ и внизъ, пока не попадете на настоящій фокусъ.

Этотъ водяной волшебный фонарь можетъ быть теперь употребленъ для производства всякаго опыта, какой дѣлается съ обыкновеннымъ волшебнымъ фонаремъ. Покройте большую чечевицу пластинкой чистаго стекла, чтобы предохранить воду отъ пыли, и вы можете класть на нее стекляныя картинки, которыя обыкновенно употребляются въ волшебномъ фонарѣ.

---

*) Ф. М. Фергюсонъ первый употреблялъ собирающую чечевицу сдѣланную изъ стеклянаго колпака наполненнаго водою. См. Quarterly Journal of Science, April 1872. Впослѣдствіи профессоръ Генри Мортонъ придумалъ взять часовое стекло наполненное водою или другою жидкостью, для того чтобы оно служило отбрасывающей чечевицею въ фонарѣ.



ГЛАВА II.

О порядкѣ опытовъ въ этой книгѣ.

Въ I главѣ объяснены устройство и употребленіе геліостата и водяного волшебнаго фонаря. Въ главѣ IV мы начинаемъ опыты разъясняющіе три способа, какими можетъ вибрировать тѣло. Мы показываемъ, что оно можетъ качаться туда и сюда подобно маятнику; что оно можетъ вибрировать, укорачиваясь и удлиняясь; и что оно можетъ вибрировать, закручиваясь и раскручиваясь. Затѣмъ мы изучаемъ природу вибраціонныхъ движеній и находимъ, что они сходны съ качающимся маятникомъ и открываемъ при этомъ, что движеніе маятника совершенно сходно съ кажущимся движеніемъ шара, если на него смотрѣть въ направленіи плоскости круга, по которому онъ движется съ равномѣрною скоростью.

Далѣе въ V главѣ мы производимъ опыты надъ тѣми вибраціями, быстрота или частота которыхъ такъ велика, что они производятъ звукъ и показываемъ въ этой и слѣдующей главѣ, что вездѣ, гдѣ только мы слышимъ звукъ, непремѣнно какое нибудь тѣло твердое, жидкое или газообразное, находится въ состояніи быстраго колебанія или вибраціи и что эти вибраціи доходятъ отъ вибрирующаго тѣла до уха черезъ твердое тѣло, черезъ жидкость или газъ; но обыкновенно средою передающею вибраціи служитъ воздухъ. Эти вибраціи, дѣйствуя на ухо, заставляютъ дрожать волокна слухового нерва и этимъ производятъ ощущеніе звука.

Въ главѣ VIII изложены опыты, которые показываютъ, какимъ образомъ эти вибраціи передаются черезъ твердыя тѣла, жидкости и газы на извѣстное разстояніе отъ источника звука. Знаніе того, какимъ образомъ звуковыя вибраціи распространяются по воздуху, при-

водитъ насъ къ опытамъ, въ которыхъ мы заставляемъ двѣ звуковыя волны встрѣтиться между собою и ихъ взаимное дѣйствіе или интерференція производятъ покой или неподвижность въ воздухѣ и тишину для слуха. Эта тишина можетъ быть постоянною, или же она можетъ продолжаться не долго и перемежаться съ звукомъ, и въ такомъ случаѣ мы имѣемъ „толчки“.

Въ главѣ IX описывается экспериментъ профессора Руда показывающій отраженіе звука. Въ опытѣ № 67, глава VIII, мы показываемъ, какимъ образомъ мы можемъ легко получить отраженіе звука отъ газоваго пламени. Въ главѣ X приводятся опыты съ сиреной сдѣланной изъ картона; она показываетъ намъ, что высота звука зависитъ отъ быстроты вибрацій производящихъ его. При помощи той же сирены и въ связи съ резонирующей трубкой одного тона съ камертономъ мы опредѣляемъ число вибрацій, какое камертонъ дѣлаетъ въ секунду. Тою же трубкою и камертономъ мы измѣряемъ потомъ скорость звука въ воздухѣ. При помощи той же сирены, въ главѣ XI, экспериментаторъ узнаетъ, что тоны гаммы образуются рядомъ вибрацій, числа которыхъ въ секунду находятся между собою въ извѣстныхъ опредѣленныхъ отношеніяхъ.

Въ главѣ XII мы дѣлаемъ опыты съ дешевымъ сонометромъ и находимъ, что длина струны связана съ быстротой вибрацій извѣстнымъ закономъ; а нашедши этотъ законъ, мы заставляемъ сонометръ издавать всѣ тоны гаммы и звуки гармоническихъ рядовъ.

Въ главахъ XIII, XIV и XV описываются опыты показывающіе причину измѣненій силы звука, опыты надъ созвучаніемъ или сонбраціями тѣлъ и надъ измѣненіемъ высоты звука происходящимъ отъ движенія звучащаго тѣла.

Причина различнаго качества звуковъ объяснена въ главѣ XVI, и затѣмъ слѣдуютъ въ главѣ XVII опыты для анализа сложныхъ звуковъ и опыты надъ образованіемъ

сложныхъ звуковъ вслѣдстіе звучанія вмѣстѣ простыхъ звуковъ ихъ составляющихъ. Въ этой главѣ находится также опытъ, въ которомъ воспроизводится движеніе частицы воздуха, когда на нее дѣйствуютъ въ одно и тоже время вибраціи дающія шесть первыхъ гармоникъ сложнаго звука, и кромѣ того помѣщены указанія для полученія весьма простой формы вибрирующаго пламени Кенига и дешоваго вращающагося зеркала, въ которомъ нужно смотрѣть пламя.

Глава XVIII содержитъ опыты надъ голосомъ, когда мы говоримъ и поемъ. Послѣ объясненія того, какимъ образомъ мы говоримъ, излагаются опыты надъ резонансомъ полости рта и затѣмъ показано, какъ можно сдѣлать такъ, чтобы игрушечная труба говорила и какъ изъ трубы и апельсина устроить говорящую машину. Глава заключается описаніемъ говорящей машины Фабера изъ Вѣны и недавно изобрѣтенной говорящей и поющей машины Эдисона, которая представляетъ акустическое чудо нашего вѣка.

Глава XIX служитъ заключеніемъ книги и даетъ краткое объясненіе причинъ гармоніи и диссонанса.

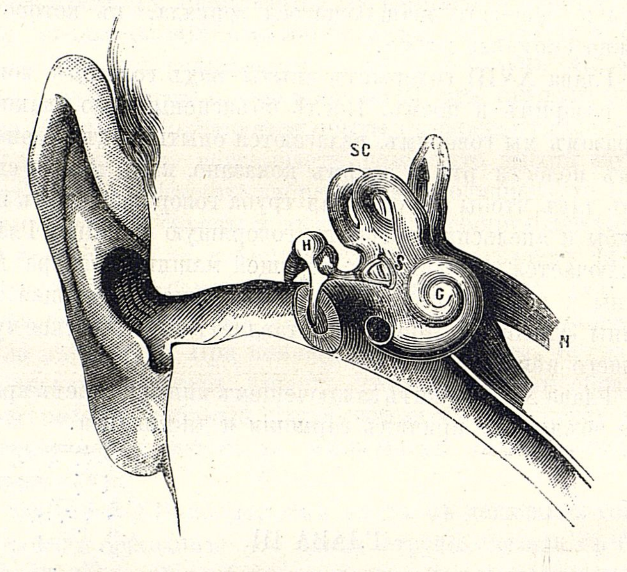
Гос. б-ка СССР им. В. И. Ленина

ГЛАВА III.

Природа звука.

Звукъ есть ощущеніе свойственное уху. Это ощущеніе возбуждается быстрыми качательными движеніями воздуха, который соприкасается съ наружной поверхностью барабанной перепонки уха. Эти качательныя движенія могутъ быть сообщены воздуху какимъ нибудь тѣломъ находящимся на извѣстномъ разстояніи отъ насъ, напримѣръ струною скрипки. Струна движется сюда и туда, качается, т. е. вибрируетъ. Эти вибраціи струны

дѣйствуютъ на подставку скрипки, которая упирается на деку или резонансовую доску инструмента. Вслѣдствіе этого резонансовая доска дрожитъ и эти дрожанія или вибраціи распространяются по воздуху во всѣхъ направленіяхъ вокругъ инструмента, отчасти въ родѣ того, какъ водяныя волны распространяются вокругъ того мѣста на поверхности спокойнаго пруда, на которое



Фиг. 4.

упалъ камень. Однако эти дрожанія еще не звукъ, а только причина звука. Звукъ, какъ мы сказали, есть ощущеніе; но такъ какъ причина этого ощущенія есть всегда вибрація, то мы называемъ вибраціи вызывающія это ощущеніе звуковыми вибраціями. Такъ если мы станемъ внимательно разсматривать вибрирующую струну скрипки, то увидимъ, что она имѣетъ видъ прозрачнаго веретена, что показываетъ, что струна быстро ка-

чается сюда и туда; но когда мы закроемъ уши, то ощущеніе звука исчезаетъ и остается только видъ быстраго движенія туда и сюда, которое за моментъ передъ тѣмъ производило звукъ.

За барабанною перепонкою въ ухѣ находится соединенная цѣпь изъ трехъ косточекъ. Одна H (фиг. 4) прикрѣплена къ барабанной перепонкѣ и называется молоткомъ; слѣдующая за ней A называется наковальней; третья S имѣетъ форму стремени и потому называется стремячкомъ. Эта послѣдняя кость прикрѣплена къ овальной перепонкѣ, которая нѣсколько больше чѣмъ основаніе стремячка. Эта овальная перепонка закрываетъ отверстіе ведущее въ полость, составляющую внутреннее ухо, проходящее въ очень твердой кости головы и имѣющую весьма сложную форму. Овальное отверстіе открывается въ шарообразную часть полости, извѣстную подъ названіемъ преддверія, изъ котораго идутъ три полукружные канала SC и также пололость C, имѣющая такое близкое сходство съ раковиною улитки, что она называется улиткою. Полость внутренняго уха наполнена жидкостью, въ которой распредѣлены нѣжныя волокна слуховаго нерва.

Посмотримъ теперь, какъ дѣйствуетъ этотъ удивительный маленькій инструментъ, когда до него достигаютъ звуковыя вибраціи. Вообразите себѣ скрипичную струну, которая дѣлаетъ 500 вибрацій въ секунду. Резонансовая доска также дѣлаетъ 500 вибрацій въ секунду. Воздухъ прикасающійся къ скрипкѣ тоже начинаетъ дрожать и тоже дѣлаетъ 500 дрожаній въ секунду и эти дрожанія распространяются по всѣмъ направленіямъ со скоростью 1,100 футовъ въ секунду. Они доходятъ до барабанной перепонки уха. Перепонка эта, будучи эластичною, движется сюда и туда, вмѣстѣ съ воздухомъ, который соприкасается съ нею. Затѣмъ, перепонка, въ свою очередь, колеблетъ маленькія ушныя кости 500 разъ

въ секунду. Наконецъ, вибраціи, производимыя струной, сообщаются послѣдней кости, стремячку, и она передаетъ ихъ жидкости внутренняго уха, гдѣ они колеблютъ волокна слухового нерва 500 разъ въ секунду. Эти дрожанія нерва, неизвѣстно какимъ образомъ, такъ дѣйствуютъ на головной мозгъ, что въ насъ получается ощущеніе, которое мы называемъ звукомъ. Сдѣланное сейчасъ нами описаніе не есть картина, созданная воображеніемъ, но представленіе того, что дѣйствительно существуетъ и что мы можемъ увидѣть при помощи надлежащихъ инструментовъ.

Тѣло можетъ вибрировать съ большею или меньшею скоростью въ секунду; оно можетъ раскачиваться на большее или меньшее разстояніе; наконецъ, дѣлая главное большое качаніе, оно въ то же время можетъ имѣть нѣсколько меньшихъ дрожаній. Вслѣдствіе этихъ различій въ вибраціяхъ звуки бываютъ высокими или низкими, громкими или тихими, простыми или сложными. Все это легко сказать и замѣтить на словахъ, но для того чтобы вполнѣ понять это, необходимо самому производить опыты и открыть эти факты.

ГЛАВА IV.

О природѣ вибраціонныхъ движеній.

Характеръ звука зависитъ отъ природы вибрацій, которыя производятъ его; поэтому первыми нашими опытами должны быть опыты надъ вибраціями, которыя столь медленны, что мы можемъ изучать на нихъ природу этихъ своеобразныхъ движеній. За этими опытами будутъ слѣдовать другіе опыты надъ вибраціями того же рода, но

отличающимися только тѣмъ, что они столь быстры и часты, что производятъ звуки. Отчетливое знаніе природы этихъ движеній лежитъ въ основаніи яснаго пониманія природы звука. Мы надѣемся, что учащійся тщательно произведетъ эти опыты и пристально будетъ наблюдать ихъ.

Опытъ 3.—Въ игрушечной лавкѣ вы можете купить деревянный шаръ съ прикрѣпленной къ нему резинковой ниткой. Отнимите резинку и спрячьте ее, такъ какъ она пригодится намъ для другого опыта. Достаньте тонкой мѣдной проволоки около 2 футовъ (61 центиментръ), и прикрѣпите ее къ шару. Тяжесть шара должна вытянуть проволоку, такъ чтобы она была прямою, а если она этого не дѣлаетъ, то нужно взять болѣе тонкую проволоку. Держите конецъ проволоки лѣвою рукою, а правою отведите шаръ въ сторону. Если вы затѣмъ пустите его, то онъ будетъ качаться взадъ и впередъ, подобно маятнику часовъ. Этого рода движенія мы называемъ маятникообразными или поперечными вибраціями.

Опытъ 4.—Вырѣжьте узенькій треугольникъ изъ бумаги въ 4 дюйма (10 центим.) длины и приклейте къ нижней сторонѣ шара. Затѣмъ закрутите проволоку поддерживающую шаръ, повернувши послѣдній на полъ-оборота и потомъ наблюдайте, какъ бумажная стрѣлка качается съ начала въ одну сторону, а потомъ въ другую. Здѣсь мы имѣемъ другого рода вибраціи, именно движеніе, производимое закручиваніемъ и раскручиваніемъ проволоки. Такія движенія называются крутительными вибраціями.

Опытъ 5.—Снимите съ шара проволоку и бумажку и прикрѣпите къ нему резинку. Держите конецъ резинки въ одной рукѣ, а другою слегка потяните шаръ внизъ и затѣмъ пустите его. Онъ станетъ вибрировать вверхъ и внизъ по направленію длины резинки. Поэтому такого рода движенія мы называемъ продольными вибраціями

Эти опыты представляютъ намъ три рода вибрацій: поперечныя, крутительныя и продольныя. Они различаются только по направленію, но всѣ имѣютъ одинъ и тотъ же способъ движенія; потому что различные роды вибрацій, поперечныя, продольныя и крутительныя, претерпѣваютъ въ своихъ движеніяхъ такія же самыя измѣненія въ скорости, какія происходятъ въ качаніяхъ обыкновеннаго маятника. Эти вибраціи всѣ начинаются съ положенія мгновеннаго покоя. Движеніе начинается медленно и затѣмъ становится все быстрѣе и быстрѣе до тѣхъ поръ, пока тѣло не достигнетъ того положенія, которое оно занимало въ естественномъ состояніи, когда оно находилось въ покоѣ, — въ этой точкѣ оно имѣетъ наибольшую скорость. Пройдя эту точку, оно опять движется все медленнѣе и медленнѣе, пока снова не придетъ на мгновеніе въ покой; послѣ этого оно начинаетъ обратное движеніе назадъ и повторяетъ тѣже измѣненія въ своей скорости.

Необходимо, чтобы учащійся составилъ себѣ ясное понятіе о природѣ этого маятникообразнаго движенія. Оно составляетъ причину звука. Оно существуетъ въ воздухѣ вездѣ, гдѣ только мы слышимъ какой-бы то ни было звукъ, и отъ измѣненія въ числѣ, ширинѣ и комбинаціи этихъ маятникообразныхъ движеній происходятъ всѣ измѣненія въ высотѣ, силѣ и качествѣ звука. Такимъ образомъ то знаніе, которое мы желаемъ сообщить читателю, и лежитъ въ самой основѣ вѣрнаго пониманія предмета этой книги.

Одинъ опытъ служитъ ключемъ къ этому знанію. Это опытъ съ

Коническимъ маятникомъ.

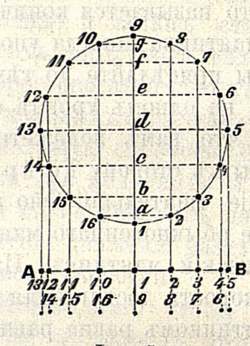
Обыкновенный маятникъ измѣняетъ свою скорость во время качаній вправо и влѣво совершенно также, какъ намъ кажется измѣняющеюся его скорость, когда онъ

движется съ равномѣрною скоростью по кругу, а мы смотримъ на него по линіи зрѣнія, которая лежитъ въ плоскости круга.

Опытъ 6.—Пусть кто нибудь возьметъ шаръ съ проволокой и отойдетъ подальше отъ васъ, и затѣмъ легкимъ круговымъ движеніемъ конца проволоки онъ долженъ заставить шаръ двигаться по кругу. Скоро шаръ станетъ двигаться по кругу съ равномѣрною скоростью, и тогда онъ представляетъ то, что называется коническимъ маятникомъ; такой родъ маятника иногда употребляется и въ часахъ. Затѣмъ вы присѣдайте до тѣхъ поръ, пока ваши глаза не будутъ на одномъ уровнѣ съ шаромъ. Это вы узнаете потому, что вамъ покажется, будто шаръ движется изъ стороны въ сторону по прямой линіи. Изучите это движеніе тщательно. Оно въ точности воспроизводитъ движеніе обыкновеннаго маятника такой-же длины какъ коническій маятникъ. Изъ этого слѣдуетъ, что наибольшая скорость достигаемая во время качанія обыкновеннымъ маятникомъ равна равномѣрной скорости коническаго маятника. Что кажущееся движеніе наблюдаемое нами есть дѣйствительно движеніе обыкновеннаго маятника, вы въ этомъ можете скоро убѣдиться къ полному вашему удовольствію; и позвольте мнѣ сказать вамъ при этомъ, что одинъ принципъ или фундаментальный фактъ наблюденный въ опытѣ и терпѣливо обдуманный стоитъ цѣлой главы словесныхъ описаній того-же опыта.

Предположимъ, что шаръ движется по кругу (фиг. 5), обходя его въ двѣ секунды; такъ какъ окружность раздѣлена на 16 равныхъ частей, то шаръ движется отъ 1 къ 2 или отъ 2 къ 3 или отъ 3 къ 4 и т. д. въ одну осьмую секунды. Но наблюдателю, который смотритъ на это движеніе въ плоскости бумаги, будетъ казаться, что шаръ движется отъ 1 къ 2, отъ 2 къ 3, отъ 3 къ 4 и т. д. по линіи AB, тогда какъ въ дѣйствительности

онъ движется отъ 1 къ 2, отъ 2 къ 3, отъ 3 къ 4 и т. д., по кругу. Находясь въ 1, шаръ идетъ прямо на перерѣзъ линіи, зрѣнія и поэтому кажется движущимся съ наибольшею скоростью; но когда онъ находится на кругѣ въ 5, то онъ удаляется отъ наблюдателя, и когда находится въ 13, то приближается къ нему, и такимъ образомъ, хотя въ дѣйствительности шаръ движется въ 5 и 13 съ равномѣрною скоростью, однако намъ кажется, будто въ этихъ точкахъ онъ на мгновеніе останавливается. Изъ сравненія обозначенныхъ одинаковыми цифрами положеній шара на кругѣ и на линіи AB очевидно, что шаръ представляется идущимъ отъ A къ B и отъ B къ A въ теченіи такого же времени, какое онъ употребляетъ на то, чтобы начиная отъ 13 обойти весь кругъ и возвратиться снова къ 13. Другими словами, шаръ вибрируетъ отъ A до B въ теченіи одной секунды, т. е. времени, въ которое онъ въ дѣйствительности обходитъ ровно половину круга. Сравненіе неравныхъ величинъ длины, отъ 13 къ 12, отъ 12 къ 11, отъ 11 къ 10 и проч. по линіи AB, которыя шаръ проходитъ въ равныя времена, дастъ учащемуся ясное понятіе объ измѣняющейся скорости качающагося маятника.

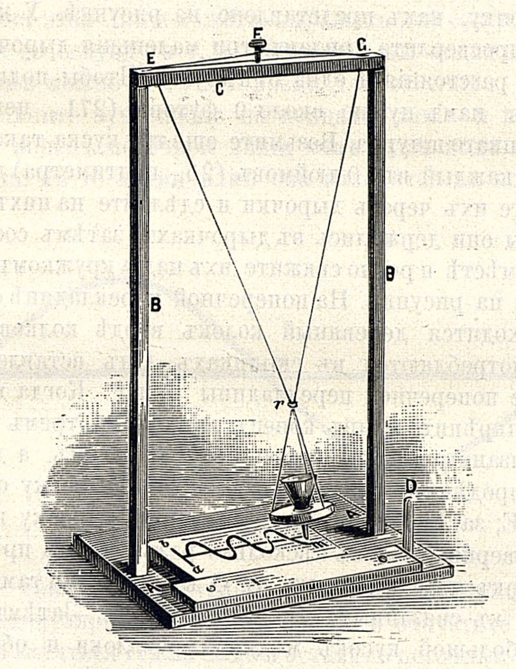


Фиг. 5.

Песочный маятникъ.

Фиг. 6 представляетъ вертикальную деревяную раму стоящую на доскѣ и поддерживающую тяжесть, которая виситъ на шнуркѣ. AA есть доска около 2 футовъ (61 центиметръ) длины и 14 дюймовъ (35,5 центиметра) ширины. BB двѣ стойки, которыя должны быть такой высоты, чтобы разстояніе отъ нижней стороны поперечной

перекладины C до доски AA было ровно $14^1/_{10}$ дюйма (1 метръ и 45 миллиметровъ). Поперечная перекладина C имѣетъ 18 дюймовъ ($45,_7$ центиметра) длины. D маленькая деревяная стойка на доскѣ. Возьмите свинцовый кружокъ $3^3/_{16}$ дюйма (8 центиметровъ) въ діаметрѣ и $^5/_8$



фиг. 6.

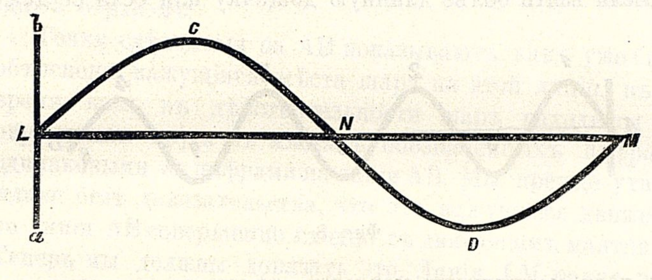
дюйма (16 миллиметровъ) толщины. Въ центрѣ его должно быть отверстіе въ 1 дюймъ (25 миллиметровъ) въ діаметрѣ. Этотъ кружокъ вы можете отлить въ пескѣ по деревянной формѣ. У мѣдника вы можете заказать небольшой оловянный конусъ въ $1^3/_{16}$ дюйма (30 миллиметровъ) ширины у основанія и $2^1/_4$ дюйма (57 миллиметровъ) глубины и вытянутый въ конкое остріе. Затѣмъ тщательно спи-

лите остріе, чтобы на кончикѣ конуса образовалось отверстіе около $^{1}/_{16}$ дюйма въ діаметрѣ. Вставьте этотъ оловянный конусъ въ отверстіе свинцоваго кружка и, чтобы онъ держался на мѣстѣ, прилѣпите его кругомъ воскомъ. Вмѣсто оловяннаго конуса можно взять просто стеклянную воронку, какъ представлено на рисункѣ. У краевъ кружка просверлите дрилемъ три маленькія дырочки на равныхъ разстояніяхъ одна отъ другой. Чтобы подвѣсить маятникъ, намъ нужно около 9 футовъ ($271_{,5}$ центиметра) крѣпкаго шнурка. Возьмите еще три куска такого-же шнурка, каждый въ 10 дюймовъ ($25_{,4}$ центиметра) длины, продѣньте ихъ через дырочки и сдѣлайте на нихъ узелки, чтобы они держались въ дырочкахъ; затѣмъ соедините ихъ вмѣстѣ и ровно свяжите ихъ надъ кружкомъ, какъ показано на рисункѣ. На поперечной перекладинѣ сверху рамы находится деревяный колокъ вродѣ колковъ, которые употребляются въ скрипкахъ. Онъ вставленъ въ отверстіе поперечной перекладины при F. Когда все готово, прикрѣпите одинъ конецъ шнурка къ тремъ шнуркамъ связаннымъ надъ оловяннымъ кружкомъ, а другой конецъ продѣньте снизу вверхъ черезъ дырочку обозначенную E; затѣмъ пропустите его черезъ дырочку въ колкѣ F; поверните колокъ нѣсколько разъ; затѣмъ продѣньте шнурокъ черезъ дырочку въ G къ кружку и тамъ прикрѣпите къ связаннымъ тремъ шнуркамъ. Затѣмъ возьмите небольшой кусокъ мѣдной проволоки и оберните его одинъ разъ вокругъ двухъ шнурковъ сейчасъ-же надъ узломъ, гдѣ въ рисункѣ стоитъ *r*. Въ настоящую минуту намъ не нужны ни это проволочное кольцо, ни маленькая деревяная стойка на доскѣ; но они понадобятся намъ въ будущихъ опытахъ съ этимъ маятникомъ.

Къ доскѣ прикрѣплена деревяная планочка I. Она служитъ направляющей линейкой, вдоль которой мы можемъ двигать маленькую дощечку *m*, на которой укрѣпленъ листъ бумаги.

Опытъ 7.—Наполните воронку пескомъ и въ то время, какъ маятникъ стоитъ неподвижно, двигайте подъ нимъ доску безостановочно. Высыпающійся песокъ расположится прямою линіей LM (фиг. 7). Если дощечка проходитъ подъ пескомъ ровно въ теченіи двухъ секундъ времени, то длина этой линіи можетъ выражать двѣ секунды, а половина ея секунду и т. д. Изъ этого мы видимъ, какимъ образомъ можно отмѣчать время длиною линіи.

Смахните кучу песку на концахъ линіи и подведите лѣвый конецъ песочной линіи какъ разъ подъ отверстіе воронки, въ то время какъ она находится въ покоѣ. Отведите свинцовый кружокъ въ сторону въ направленіи перпендикулярномъ къ длинѣ линіи и отпустите его. Онъ будетъ качаться туда и сюда и оставитъ песочный слѣдъ ab, который будетъ перпендикуляренъ къ линіи LM (фиг. 7).



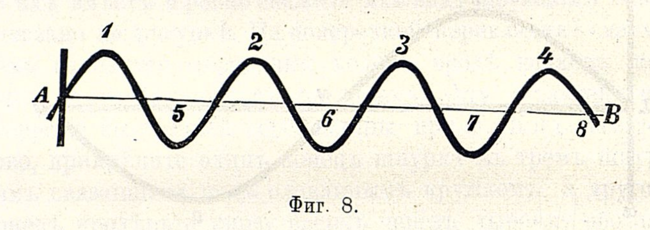
фиг. 7.

Предположимъ, что маятникъ проходитъ отъ a до b или отъ b до a въ теченіи секунды, и что въ то время, какъ отверстіе воронки станетъ какъ разъ надъ L, мы будемъ двигать дощечку, такъ что по прошествіи двухъ секундъ конецъ M линіи LM подойдетъ подъ отверстіе воронки. Въ этомъ случаѣ песокъ будетъ разсыпаемъ маятникомъ туда и сюда, въ то время какъ бумага движется подъ нимъ на разстояніи LM. Результатъ этого тотъ,

что песокъ ложится на бумагѣ красивою кривою линіею LCNDM. Половина этой линіи лежитъ по одну сторону LM, а другая половина по противоположную сторону этой линіи.

Сначала экспериментатору, можетъ быть, будетъ трудно начать двигать бумагу какъ разъ въ тотъ моментъ, когда отверстіе воронки станетъ надъ L; но послѣ нѣсколькихъ пробныхъ разовъ это ему легко будетъ удаваться. Нѣтъ надобности также держать на бумагѣ во время этихъ пробъ обѣ песочныя линіи LM и ab; ихъ можно нарисовать, проведя острымъ карандашемъ сквозь песокъ по бумагѣ.

Если взять болѣе длинную дощечку или если ее дви-



Фиг. 8.

гать подъ маятникомъ медленно, то можно получить песчаный слѣдъ со многими волнами какъ на фиг. 8.

Такъ какъ песочный маятникъ, когда онъ дѣлалъ волнистыя линіи (фиг. 7 и 8), качался совершенно одинаково съ обыкновеннымъ маятникомъ, то изъ этого слѣдуетъ, что эти линіи должны быть свойственны движенію маятника и могутъ служить для отличія этого движенія. А если такъ, то эта кривая должна имѣть какую нибудь связь съ движеніемъ коническаго маятника, описаннымъ въ 6 Опытѣ. Это такъ и есть, и существующую между ними связь можно найти при внимательномъ изученіи фиг. 9.

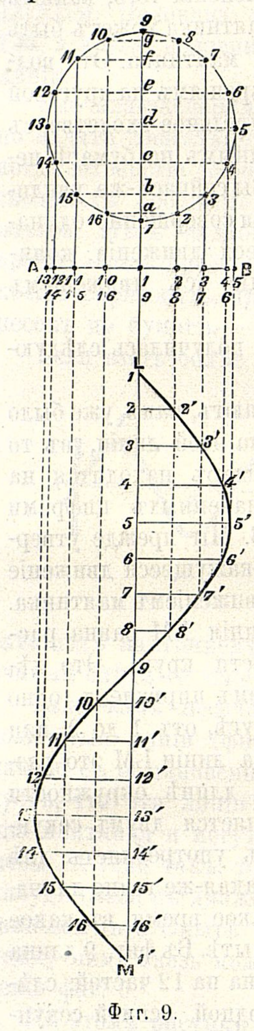
На этомъ рисункѣ мы видимъ тоже волнистую линію нарисованную подъ тою-же самою круговою фигурою, ко-

торою мы уже пользовались для объясненія того, какимъ образомъ движеніе обыкновеннаго маятника можетъ быть получено изъ движенія коническаго маятника. Эта волнистая линія сдѣлана прямо по измѣреніямъ на круговой фигурѣ и несомнѣнно имѣетъ поразительное сходство съ волнообразнымъ слѣдомъ, произведеннымъ на бумагѣ песочнымъ маятникомъ въ 7 Опытѣ. Вы сейчасъ-же увидите, что доказать, что эти двѣ кривыя совершенно одинаковы, значитъ доказать, что кажущееся движеніе коническаго маятника совершенно сходно съ движеніемъ обыкновеннаго маятника.

Волнообразная линія въ фиг. 9 получилась слѣдующимъ образомъ:

Точки сдѣланныя на AB показываютъ, какъ уже было объяснено, кажущіяся мѣста шара на этой линіи, въ то время какъ въ дѣйствительности шаръ находится на окружности круга въ мѣстахъ обозначенныхъ цифрами одинаковыми съ цифрами на линіи AB. Мы прежде утверждали безъ доказательства, что это кажущееся движеніе по линіи AB совершенно сходно съ движеніемъ маятника. Теперь мы должны доказать это. Линія LM равна распрямленной или разогнутой окружности круга. Это дѣлается такимъ образомъ: мы измѣряемъ циркулемъ одно какое нибудь изъ разстояній на кругѣ, отъ 1 до 2, или отъ 2 до 3 и проч., и откладываемъ на линіи LM это разстояніе 16 разъ; поэтому LM равна длинѣ окружности круга. По времени эта длина равняется двумъ секундамъ, потому что въ Опытѣ 6 шаръ употребляетъ двѣ секунды на то, чтобы обойти кругъ. Такая-же точно длина, какъ вы помните, получилась въ такое время, въ какое сдѣлалась песочная линія LM въ 7 Опытѣ. Въ фиг. 9 длина LM, равная двумъ секундамъ, раздѣлена на 12 частей; слѣдовательно каждая изъ нихъ равна одной осьмой секунды, совершенно также, какъ соотвѣтствующія длины на кругѣ равняются каждая одной осьмой секунды. Такимъ

образомъ линія LM въ фиг. 9 въ смыслѣ обозначенія времени совершенно одинакова съ песочной линіей LM въ 7 Опытѣ а линія AB въ фиг. 9, по которой совершается кажущееся движеніе, одинакова съ линіей ab въ фиг. 7, вдоль которой качался песочный маятникъ.



Фиг. 9.

Затѣмъ возьмите циркулемъ разстоянія отъ 1 до 2, отъ 1 до 3, отъ 1 до 4, отъ 1 до 5 и т. д. по линіи AB въ фиг. 9 и отложите ихъ перпендикулярно къ линіи LM въ точкахъ 1, 2, 3, 4, 5 и т. д.; дѣлая это, мы въ дѣйствительности беремъ разстоянія, на какихъ шаръ кажется намъ отъ 1 (мѣста наибольшей его скорости) и переносимъ ихъ на LM; такимъ образомъ эти разстоянія соотвѣтствуютъ тѣмъ разстояніямъ отъ LM въ фиг. 7, на которыя раскачивался песочный маятникъ въ концѣ временъ обозначенныхъ на LM въ фиг. 9.

Соедините концы всѣхъ этихъ линій, 22′ 33′ 44′ и проч.; проведя черезъ нихъ кривую, вы получите волнистую линію въ фиг. 9.

Эта кривая очевидно соотвѣтствуетъ кривой LCNDM въ фиг. 7, сдѣланной песочнымъ маятникомъ, и очевидно, что если эта кривая фиг. 9 совершенно одинакова съ кривой проведенной песочнымъ маятникомъ въ 7 Опытѣ, то изъ этого слѣ-

дуетъ, что кажущееся движеніе коническаго маятника если на него смотрѣть въ плоскости, въ которой онъ движется кругомъ, совершенно одинаково съ дѣйствительнымъ движеніемъ обыкновеннаго маятника.

Опытъ 8.—Чтобы повѣрить это, сдѣлаемъ на листѣ бумаги волнообразную кривую совершенно такъ, какъ мы дѣлали ее на фиг. 9 и прикрѣпимъ бумагу на подвижной доскѣ песочнаго маятника, стараясь при этомъ помѣстить ее такъ, что когда доска движется подъ неподвижнымъ маятникомъ, то чтобы отверстіе воронки приходилось какъ разъ надъ центральной линіей LM (фиг. 9) кривой.

Затѣмъ отведите кружокъ съ воронкой въ сторону на разстояніе отъ линіи LM равное половинѣ AB, или что тоже, отъ 5 до 5' (фиг. 9). Насыпьте песку въ воронку и пустите ее. Въ тотъ моментъ, когда отверстіе воронки будетъ надъ L, подвигайте доску вдоль и съ такою скоростью, что когда отверстіе воронки подойдетъ къ линіи LM въ третій разъ, то чтобы оно пришлось противъ конца M этой линіи. Съ перваго раза вамъ это не удастся сдѣлать, но послѣ нѣсколькихъ попытокъ вы достигнете этого и тогда вы отъ самого-же маятника получите отвѣтъ относительно рода движенія, какое оно совершаетъ; потому что вы увидите, что песокъ изъ качающагося маятника разсыпается какъ разъ по кривой, которую вы помѣстили подъ нимъ. Такимъ образомъ мы рѣшительно доказали, что кажущееся движеніе коническаго маятника по линіи AB совершенно одинаково съ качательнымъ движеніемъ обыкновеннаго маятника.

Такъ какъ трудно начать двигать доску съ равномѣрною скоростью какъ разъ въ то мгновеніе, когда маятникъ находится надъ линіей LM, то лучше взять и прикрѣпить къ доскѣ бумагу безъ всякой кривой на ней и затѣмъ практиковаться до тѣхъ поръ, пока вамъ удастся продвинуть доску подъ маятникомъ черезъ разстояніе LM точно въ такое же время, какое маятникъ употребляетъ

на то, чтобы сдѣлать два качанія. И если вы при этомъ строго слѣдили за тѣмъ, чтобы размахъ вашего маятника былъ совершенно равенъ AB или отъ 5 до 5′ на рисункѣ кривой, то получите песочную кривую, которая будетъ равна начерченной вами кривой; потому что если вы срисуете песочную кривую, прочертивши по бумагѣ черезъ песокъ острымъ карандашемъ, и затѣмъ сличите на свѣтъ на оконномъ стеклѣ этотъ чертежъ съ чертежомъ кривой на фиг. 9, наложивши ихъ одинъ на другой, то увидите, что одна кривая совпадаетъ съ другою по всей своей длинѣ.

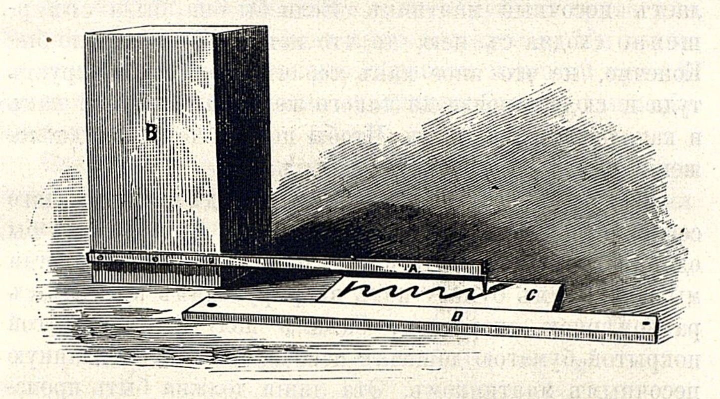
Эта кривая, которую мы сдѣлали изъ круга въ фиг. 9 и которую маятникъ чертитъ пескомъ, называется кривою синусовъ или синусоидомъ. Она такъ называется потому, что образуется отъ выпрямленія окружности круга въ линію и затѣмъ раздѣленія этой линіи LM (фиг. 9) на какое нибудь число равныхъ частей. Изъ точекъ этихъ дѣленій 1, 2, 3, 4, 5 и проч. LM мы возстановляемъ перпендикуляры 22′, 33′, 44′, 55′ и проч., равные линіямъ a2, b3, c4, d5 и проч. въ кругѣ. Эти линіи въ кругѣ называются синусами; такъ что когда мы соединимъ концы этихъ линій возстановленныхъ изъ выпрямленной окружности кривой, то и получимъ кривую синусовъ или синусоидъ.

Синусоидъ встрѣчается часто при изученіи физики. Почти навѣрное онъ встрѣтится во всякой книгѣ о Свѣтѣ и непремѣнно попадется въ книгѣ о Теплотѣ.

Опытъ дающій намъ слѣдъ вибрирующаго сосноваго прута.

Въ фиг. 10 A представляетъ прутъ въ 4 фута ($121,_9$ центиметра) длины, 1 дюймъ (25 миллиметровъ) ширины и $^1/_4$ дюйма (6 миллиметровъ) толщины, сдѣланный изъ чистой хорошо высушенной сосны. Онъ прикрѣпленъ маленькими винтами къ деревянному ящику B стоящему на

столѣ. Этотъ ящикъ можетъ быть какой угодно подходящей величины; но такъ какъ его можно употребить еще для другого опыта то лучше сдѣлать его около 14 дюймовъ ($35_{,5}$ центиметровъ) длины и ширины и 30 дюймовъ ($76_{,2}$ центиметра) высоты. Этотъ ящикъ ставится на столъ и до половины наполняется пескомъ и такимъ образомъ представляетъ неподвижную и солидпую опору, къ которой прикрѣпляется прутъ. Нижнее ребро прута помѣщается около $1^1/_2$ дюйма (38 миллиметровъ) надъ столомъ и около 3 футовъ ($91_{,4}$ центиметра) его выдается впере-



Фиг. 10.

ди ящика. Къ свободному концу его придѣлана небольшая кисть изъ верблюжьяго волоса, кончикъ которой ровно срѣзанъ. Когда все это готово, возьмите узенькую дощечку C такой толщины, чтобы кончикъ кисти какъ разъ касался ея, когда она будетъ подложена подъ нее на столѣ. Затѣмъ положите деревянную планочку D параллельно съ прутомъ, чтобы она служила направляющей линейкой для дощечки. Прикрѣпите къ дощечкѣ листъ бѣлой бумаги. Обмакните перо въ густыя черныя чернила и напитайте ими кисть. Покрытая бумагою пла-

стинка кладется теперь подъ прутъ, такъ чтобы кисть только что касалась ея.

Опытъ 9.—Потяните конецъ прута въ сторону и потомъ пустите его, такъ чтобы онъ началъ вибрировать. Кисть сдѣлаетъ почти прямой слѣдъ на бумагѣ. Снова заставьте его вибрировать и затѣмъ подвигайте покрытую бумагой дощечку непрерывно и быстро влѣво, и тогда кисть сдѣлаетъ на бумагѣ извилистый слѣдъ.

Разсмотрите внимательно эту линію. Она представляется очень похожею на линію синусовъ, которую дѣлаетъ песочный маятникъ. Если бы она была совершенно сходна съ нею, то что изъ этого слѣдовало-бы? Конечно, не что иное какъ то, что прутъ вибрируетъ туда и сюда, производя такого же рода движеніе, какъ и качающійся маятникъ. Чтобы повѣрить это предположеніе, сдѣлаемъ слѣдующій опытъ:

Опытъ 10.—Получите волнистый слѣдъ вибрирующаго сосновнаго прута, въ которомъ каждый изгибъ былъ бы одинаковой длины. Это получится только тогда, когда мы подвигаемъ бумагу подъ вибрирующимъ прутомъ съ равномѣрною скоростью. Затѣмъ получите на другой покрытой бумагою дощечкѣ песочную линію сдѣланную песочнымъ маятникомъ. Эта линія должна быть произведена такими качаніями маятника, которыя совершенно равны ширинѣ размаховъ вибрирующаго прута. Проводите дощечку подъ песочнымъ маятникомъ съ различными скоростями, пока вамъ удастся получить песочныя волны совершенно такой же длины, какъ и волны производимыя вибрирующимъ прутомъ. Другими словами, разстояніе отъ 1 до 2 или отъ 5 до 6 (фиг. 8) должно быть одинаково въ обѣихъ кривыхъ. Затѣмъ тщательно проведите карандашемъ линію, водя карандашъ по песочной кривой насквозь ея по серединѣ песчанаго слѣда. Снимите бумаги съ дощечекъ и положите ихъ одну надъ другой на оконное стекло. Послѣ нѣсколькихъ при-

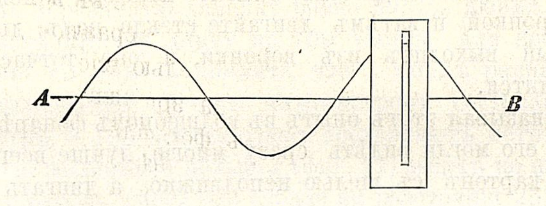
способленій и передвиганій вы увидите, что одна кривая лежитъ какъ разъ на другой, что показываетъ, что они одинаковой формы.

Такимъ образомъ вы сами нашли слѣдующую весьма важную истину въ наукѣ: вибрирующій прутъ качается туда и сюда, производя такого же рода движеніе какъ и качающійся маятникъ.

Маятникообразное движеніе воспроизведенное изъ слѣдовъ сдѣланныхъ маятникомъ и вибрирующимъ прутомъ.

Мы видѣли, что маятникъ и вибрирующій прутъ дѣлаютъ слѣды имѣющіе видъ кривой синусовъ. Мы должны показать теперь, какимъ образомъ изъ этой кривой мы можемъ получить снова маятникообразное движеніе произведшее ее.

Опытъ 11.—Возьмите кусокъ не очень толстаго картона и вырѣжьте въ немъ узкую щель въ $1/_{25}$ дюйма (1 миллиметръ) ширины и не много длиннѣе синусоидаль-



Фиг. 11.

наго слѣда вибрирующаго прута или маятника. Положите его на слѣдъ у конца его, такъ чтобы вамъ видна была черезъ щель только небольшая часть слѣда, какъ показано на рисункѣ (фиг. 11). Двигайте картонъ надъ слѣдомъ въ направленіи линіи AB и вы увидите, что небольшая черная точка качается въ щели взадъ и впередъ и точно повторяетъ движеніе маятника или вибрирующаго прута.

Мы увидимъ впослѣдствіи (Глава VIII и Опыты 58 и 110), что частички воздуха и другихъ упругихъ тѣлъ качаются туда и сюда, по линіи направленія, въ какомъ распространяются по нимъ звуковыя волны. Въ предшествующемъ опытѣ (11) это направленіе выражается направленіемъ длины щели; или, какъ это вообще говорится, звукъ есть движеніе въ направленіи длины щели.

Опытъ 12.—Чтобы произвести другой опытъ показывающій тоже самое, снимите съ конца прута кисть и прикрѣпите къ нему воскомъ маленькое остріе сдѣланное изъ фольги, такъ чтобы оно только что касалось закопченнаго стекла лежащаго подъ нимъ. Заставьте прутъ вибрировать и подвигайте подъ нимъ стекло; тогда вы получите на стеклѣ извилистую линію.

Чтобы приготовить закопченное стекло, положите на кирпичъ кусокъ камфоры, величиною съ горошинку. Затѣмъ согните кусокъ оловяннаго листа въ форму воронки около 2 дюймовъ высоты, и сдѣлайте на нижнемъ краѣ нѣсколько вырѣзокъ. Зажгите камфору и покройте ее воронкой и затѣмъ двигайте стекло надъ дымомъ, который выходитъ изъ воронки, и оно тотчасъ же зачернится.

Показывая этотъ опытъ въ волшебномъ фонарѣ, такъ чтобы его могли видѣть сразу многіе, лучше всего держать картонъ съ щелью неподвижно, а двигать надъ нимъ стекло и тогда зрители увидятъ на экранѣ бѣлое пятно на темномъ фонѣ, вполнѣ воспроизводящее движеніе маятника.

Двойной маятникъ Блекборна.

Опытъ 13.—Возвратимся къ нашему песочному маятнику. Мы изслѣдовали вибраціи одиночнаго маятника, а теперь изслѣдуемъ вибраціи двойного маятника, дающаго заразъ двѣ вибраціи. Маленькое кольцо *r* (фиг. 12) на шнуркѣ маленькаго маятника можетъ скользить

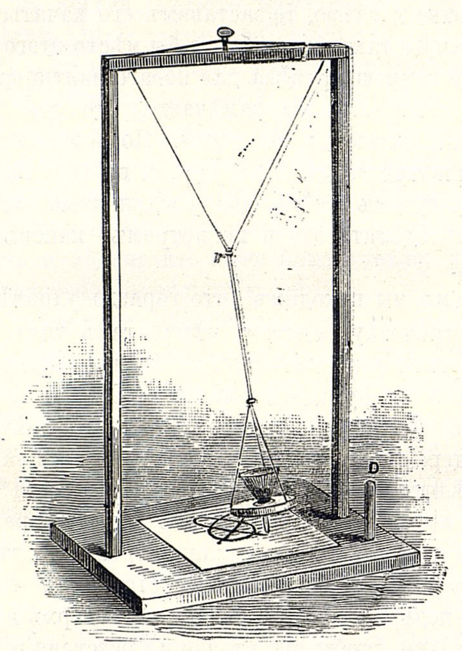
вверхъ и внизъ, и подвигая его въ томъ или другомъ направленіи, мы можемъ соединить два маятника въ одинъ. Поднимите его вверхъ по шнуркамъ на одну четвертую часть длины маятника, и два шнурка сойдутся вмѣстѣ ниже кольца. Если мы теперь толкнемъ кружокъ съ воронкой вправо и влѣво, то заставимъ его качаться ниже мѣднаго кольца такъ, какъ будто бы мѣсто этого кольца было новою точкою привѣса для новаго маятника. Когда кружокъ качается, то вы замѣчаете, что два шнурка выше кольца остаются въ покоѣ. Но можно также заставить качаться взадъ и впередъ и верхній маятникъ, и тогда мы будемъ имѣть два соединенные маятника. Попробуемъ сдѣлать это и посмотримъ, каковъ будетъ результатъ.

При этомъ мы находимъ, что гораздо удобнѣе употреблять метрическую систему мѣръ, такъ какъ она болѣе проста и ее легче запоминать, чѣмъ обыкновенную систему мѣръ въ футахъ и дюймахъ. Если у васъ нѣтъ метрической мѣры, то купите ее или сдѣлайте сами. Возьмите деревянную линейку ровно $39^{37}/_{100}$ дюйма длины и раздѣлите эту длину на 100 частей. Для пособія при этомъ вы можете помнить, что 1 дюймъ равняется $25^{4}/_{10}$ миллиметра. Десять миллиметровъ составляютъ центиметръ, а 100 центиметровъ составляютъ метръ.

Теперь поднимите кольцо r (фиг. 12) вверхъ по шнуркамъ настолько, чтобы оно стояло на разстояніи 25 центиметровъ отъ середины толщины кружка. Затѣмъ сдѣлайте такъ, чтобы разстояніе отъ нижней стороны поперечной перекладины до середины толщины кружка составляло ровно 100 центиметровъ, и для этого поворачивайте въ ту или другую сторону скрипичный колокъ наверху аппарата.

Въ D (фиг. 12) находится маленькая стойка. Она можетъ быть помѣщена гдѣ угодно на линіи проведенной отъ центра нижней доски и составляющей уголъ 45° съ

линiею отъ одной вертикальной стойки до другой. Привяжите нитку къ тому шнурку у кружка, который поближе къ маленькой стойкѣ, отведите кружокъ въ сторону по направленiю къ этой стойкѣ и привяжите къ ней. Когда кружокъ станетъ совершенно неподвижно, на-



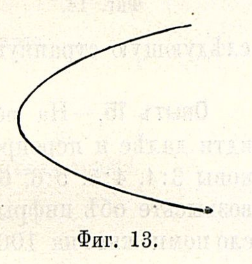
Фиг. 12.

полните воронку пескомъ и поднесите подъ нитку зажженную спичку. Нитка сгоритъ, и кружокъ начнетъ совершать свои движенiя. Теперь вмѣсто того, чтобы качаться по прямой линiи, онъ слѣдуетъ по кривой и песокъ каждый разъ все располагается по такой линiи, какая представлена на фиг. 13.

Здѣсь мы получаемъ очень курьезный результатъ и

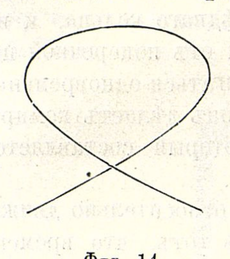
должны остановиться, чтобы изучить его. Вы легко можете видѣть, что мы имѣемъ здѣсь два маятника. Одна четверть маятника качается отъ мѣднаго кольца, и въ тоже время весь маятникъ качается отъ поперечной перекладины. Кружокъ не можетъ двигаться одновременно въ двухъ направленіяхъ, такъ что онъ дѣлаетъ компромиссъ и идетъ особымъ путемъ, который составляется изъ двухъ направленій.

Самый важный фактъ открытый относительно движеній вибрирующихъ маятниковъ есть тотъ, что времена ихъ качаній измѣняются какъ квадратные корни изъ ихъ длины. Короткій маятникъ ниже кольца имѣетъ 25 центиметровъ длины, или четверть длины длиннаго маятника и согласно этому правилу онъ движется вдвое скорѣе. Качаются два маятника, одинъ въ 25 центиметровъ длины, а другой 100 центиметровъ, однако одинъ движется вдвое скорѣе, чѣмъ другой. Въ то время какъ длинный маятникъ дѣлаетъ одну вибрацію, короткій дѣлаетъ ихъ двѣ. Такимъ образомъ времена ихъ вибрацій относятся между собою какъ 1 къ 2 или, выражаясь другимъ способомъ, 1 : 2.


Фиг. 13.

Опытъ 14.—Попробуемъ другія отношенія и посмотримъ, какую линію дастъ двойной маятникъ. Положимъ, мы желаемъ, чтобы одинъ маятникъ дѣлалъ 2 вибраціи въ то время какъ другой дѣлаетъ ихъ 3. Удерживая середину кружка на 100 центиметрахъ отъ поперечной перекладины, посмотримъ, гдѣ должно быть помѣщено кольцо. Квадратъ 2 есть 4, а квадратъ 3 есть 9. Поэтому два маятника двойнаго маятника должны имѣть длины, относящіяся между собою какъ 4 къ 9. Но длинный маятникъ остается при прежней длинѣ въ 1000 милли-

метровъ. Поэтому длина короткаго маятника можетъ быть найдена изъ пропорціи $9:4 = 1000:444{,}_4$ миллиметра. Такимъ образомъ мы должны поднимать кольцо по шнуркамъ до тѣхъ поръ пока оно не станетъ на $444{,}_5$ миллиметра высоты отъ середины толщины кружка.


Фиг. 14.

Привяжите кружокъ къ стойкѣ какъ прежде, наполните воронку пескомъ и пережгите нитку; вашъ качающійся маятникъ нарисуетъ слѣдующую странную фигуру (фиг. 14).

Опытъ 15.—На основаніи этихъ указаній вы можете идти далѣе и перепробовать всѣ простыя отношенія, каковы 3:4, 4:5, 5:6, 6:7, 7:8, и 8:9. Въ каждомъ случаѣ возвысьте обѣ цифры въ квадратъ, затѣмъ меньшее число помножьте на 1000 и произведеніе раздѣлите на большее число; частное дастъ вамъ длину меньшаго маятника въ миллиметрахъ. Такъ длина для отношеній вибраціи какъ 3 къ 4 найдется слѣдующимъ образомъ:

$$3 \times 3 = 9,\ 4 \times 4 = 16, \text{ и}$$

$$\frac{9 \times 1000}{16} = 562{,}_5 \text{ миллиметра.}$$

На приложенной таблицѣ (фиг. 15) въ первомъ и второмъ столбцѣ представлены отношенія вибраціи, а въ третьемъ и четвертомъ столбцахъ соотвѣтствующія длины длиннаго и короткаго маятниковъ. Рядомъ съ этими длинами помѣщены фигуры, которыя рисуются этими двойными маятниками. Въ шестомъ столбцѣ находятся названія музыкальныхъ интерваловъ существующихъ между двумя тонами, которые образуются при числахъ зву-



Мм. Мм.	
1:2 = 1.000:250,0	Октава.
2:3 = 1.000.444,4	Квинта.
3:4 = 1.000:562,5	Кварта.
4:5 = 1.000:670,0	Большая терція.
5:6 = 1.000:694,4	Малая терція.
6:7 = 1,000:734,5	Меньшая терція.
7:8 = 1,000:765,6	Большая секунда.
8:9 = 1,000:790,1	Секунда.

Фиг. 15.

ковыхъ вибрацій, находящихся между собою въ отношеніяхъ показанныхъ въ первомъ и второмъ столбцахъ *).

Фиксированіе кривыхъ на стеклѣ.

Опытъ 16.—Эти интересныя фигуры, сдѣланныя изъ песку двойнымъ маятникомъ, могутъ быть фиксируемы на стеклѣ, чтобы они прочно сохранились на немъ; при этомъ они могутъ быть прекрасными украшеніями для окна или каминнаго экрана и будутъ напоминать вамъ, что вы сдѣлались экспериментаторомъ. Достаньте нѣсколько квадратныхъ пластинокъ чистаго стекла около 6 дюймовъ и купите въ москательной лавкѣ свѣтлаго спиртоваго лака. Держите лѣвою рукою одну пластинку за уголокъ, а правою рукою налейте на нее нѣсколько лаку. Пусть лакъ покроетъ половину пластинки; тогда вы легонько покачивайте стекло изъ стороны въ сторону, пока лакъ не покроетъ всей пластинки; затѣмъ наклоните пластинку внизъ и уприте одинъ уголъ въ отверстіе склянки съ лакомъ, чтобы стекъ лишній лакъ, причемъ слегка покачивайте пластинку. Вслѣдствіе этого на стеклѣ образуется тонкая пленка изъ лаку и затѣмъ ей нужно дать высохнуть. Когда лакъ затвердѣетъ, положите пластинку лакированною стороною вверхъ на доску песочнаго маятника, пристройте маятникъ какъ слѣдуетъ для производства фигуръ и привяжите къ маленькой стойкѣ.

---

*) Описанный маятникъ устроить очень не трудно домашними средствами и всѣ опыты съ нимъ удаются легко и доставляютъ большое удовольствіе. Невольно поражаешься и приходишь въ крайне пріятное изумленіе, видя въ первый разъ, какъ этотъ простой и крайне незатѣйливый аппаратъ выводитъ самъ собою такія сложныя и запутанныя фигуры. Для того, чтобы фигуры были отчетливы, нужно всякій разъ, какъ только маятникъ кончитъ фигуру въ первый разъ, тотчасъ же останавливать его, схватывая его рукой и запирая пальцемъ отверстіе воронки; потому что если онъ пройдетъ по фигурѣ еще нѣсколько разъ, то затемнитъ ее, насыпая туже фигуру, но нѣсколько въ другихъ мѣстахъ. Прим. перев.

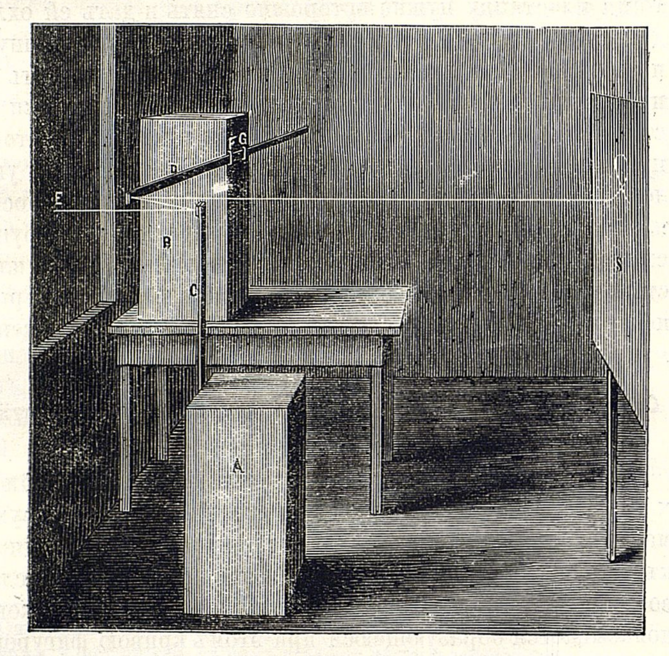
Пережгите нитку, и затѣмъ немедленно остановите маятникъ, какъ только выйдетъ вся фигура. Смахните лишній песокъ, который можетъ быть на концахъ фигуры и положите пластинку на горячую плиту, положивши сначала на плиту нѣсколько деревянныхъ брусковъ, а на нихъ уже пластинку. Тотчасъ же лакъ начнетъ таять; тогда пластинку нужно осторожно снять и дать ей охладиться, тщательно стараясь о томъ, чтобы не сдвинуть песку. Когда лакъ затвердѣетъ, тогда нужно удалить неприставшій песокъ, легко ударяя ребромъ пластинки по столу. Теперь вы имѣете прочную фигуру кривой. Чтобы предохранить ее отъ порчи, положите въ каждый уголокъ по маленькому кусочку картона и узенькія полоски по краямъ и затѣмъ наложите на нихъ сверху другое стекло и склейте ихъ по краямъ бумагой. Такую пластинку можно теперь помѣстить въ волшебный фонарь и получить на экранѣ сильно увеличенныя изображенія кривой.

Опыты, въ которыхъ мы соединяемъ движенія двухъ вибирующихъ прутьевъ.

Мы только что видѣли, какимъ образомъ двойной маятникъ соединяетъ въ одно движеніе движенія двухъ маятниковъ качающихся подъ прямымъ угломъ одинъ къ другому. Наши опыты научили насъ также, что числовое отношеніе между числами качаній двухъ маятниковъ показывается образующеюся при этомъ кривою фигурою; такъ что зная фигуру, мы можемъ напередъ сказать относительное число вибрацій каждаго маятника, а зная послѣднее, мы можемъ предсказать кривую фигуру, которую начертитъ двойной маятникъ. Но наши опыты научили насъ, что вибрирующій прутъ движется туда и сюда, производя такого же рода движеніе, какъ качающійся маятникъ. Изъ этого слѣдуетъ, что если какимъ нибудь способомъ мы скомбинируемъ въ одно движеніе

отдѣльныя движенія двухъ вибрирующихъ прутьевъ, то этимъ заставимъ эти прутья описать кривыя фигуры производимыя двойнымъ маятникомъ.

Движеніе двухъ вибрирующихъ прутьевъ можно соединить въ одно движеніе посредствомъ луча свѣта, который падая на зеркало, прикрѣпленное къ концу одного



Фиг. 16.

прута, отражается къ зеркалу прикрѣпленному къ концу другого прута, между тѣмъ какъ отъ этого втораго зеркала лучъ отражается на экранъ.

Для успѣха этихъ опытовъ безусловно необходимо, чтобы вибрирующіе прутья были прикрѣплены къ тѣламъ тяжелымъ и неподвижнымъ, не вибрирующимъ

тогда, когда прутья приведены въ движеніе. Ящики А и В (фиг. 16) около 14 дюймовъ въ квадратѣ, до половины наполненные пескомъ, гравіемъ или сухой землей, могутъ служить такими опорами. Прутья С и D сдѣланы изъ чистой бѣлой сосны и имѣютъ 4 фута (121,9 центиметра) длины, 1 дюймъ (25 миллиметровъ) ширины и 1/4 (6,25 миллиметра) толщины. На концѣ каждаго прута прикрѣплено воскомъ посеребренное зеркало въ 1 квадратный дюймъ. Вертикальный прутъ С прикрѣпленъ къ боку ящика А двумя винтами, которые проходятъ черезъ прутъ и входятъ въ ящикъ близъ его крышки. Еще одинъ винтъ прикрѣпляетъ прутъ къ ящику на разстояніи нѣсколькихъ дюймовъ книзу отъ верхнихъ винтовъ. Свободный конецъ этого прута выше ящика долженъ быть ровно въ 30 дюймовъ (76,2 центиметра) длины. Длину горизонтальнаго прута D можно измѣнять по произволу, потому что онъ прижимается къ боку ящика В винтами, которые проходятъ черезъ концы двухъ деревянныхъ дощечекъ F и G. Два гвоздя вбиты въ ящикъ подъ этимъ прутомъ, чтобы удерживать его въ горизонтальномъ направленіи въ то время, когда его придется передвигать туда и сюда. Кусокъ бумаги въ 1 квадратный дюймъ съ отверстіемъ въ его центрѣ въ 1/4 дюйма въ діаметрѣ прикрѣпленъ къ зеркалу на прутѣ С.

Опытъ 17.—Чтобы начать опытъ, мы ставимъ на окно геліостатъ. Ящикъ А нужно сдѣлать такой высоты, что когда его поставить передъ окномъ, то чтобы центръ зеркала былъ какъ разъ противъ центра отверстія Е въ геліостатѣ. Затѣмъ мы ослабляемъ винты въ деревяныхъ нажимахъ F и G и двигаемъ прутъ D подъ нажимами до тѣхъ поръ, пока выступающій впереди ящика свободный конецъ его будетъ имѣть въ длину ровно 20 7/16 дюйма (51,91 центиметра). Ящики А и В ставятся теперь въ такія положенія, чтобы свѣтъ, падающій на 1/4 дюймовый кружокъ зеркала на прутѣ С, от-

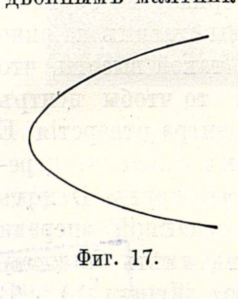
БИБЛИОТЕКА

ражался на квадратно-дюймовое зеркало на прутѣ D и оттуда отражался на бѣлый экранъ S на другомъ концѣ комнаты, гдѣ онъ является небольшимъ блестящимъ кружкомъ.

На фиг. 16 бѣлыя линіи показываютъ свѣтъ, идущій отъ геліостата E къ зеркалу на прутѣ C, оттуда отражающійся на зеркало прута D, которое отражаетъ его на экранъ S.

Затѣмъ потяните къ себѣ прутъ C и пустите его Тотчасъ-же свѣтлый кругъ на экранѣ вытягивается въ вертикальную линію. По мѣрѣ того, какъ ширина размаха качаній прута становится меньше и меньше, линія становится короче и короче и наконецъ сокращается въ маленькій блестящій кружокъ, когда прутъ перестаетъ вибрировать. Затѣмъ отведите въ сторону прутъ D и пустите его. Теперь маленькій кружокъ на экранѣ вытягивается въ горизонтальную линію.

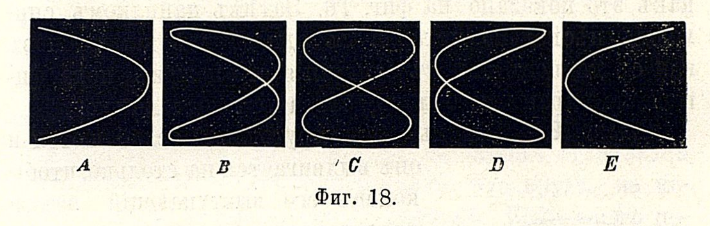
Эти два движенія свѣтоваго пятна находятся подъ прямымъ угломъ одно къ другому и совершенно сходны съ движеніями двухъ маятниковъ двойнаго маятника. Поэтому если оба прута будутъ вибрировать одновременно, то свѣтовой кружокъ долженъ превратиться въ одну изъ извѣстныхъ намъ кривыхъ производимыхъ двойнымъ маятникомъ. Испытаемъ это на опытѣ. Отведемъ въ сторону оба прута и пустимъ ихъ въ одно и то же мгновеніе. Тотчасъ же маленькій кругъ изчезаетъ съ экрана и на его мѣстѣ является такая фигура (фиг. 17). Мы сразу же узнаемъ, что это таже самая фигура, которую дѣлалъ изъ песку двойной маятникъ, когда одинъ изъ его маятниковъ дѣлалъ два качанія, тогда какъ другой дѣлалъ одно. Такимъ образомъ одинъ изъ



Фиг. 17.

этихъ прутьевъ качнется дважды въ то время, какъ другой качнется однажды.

Можетъ случиться, что фигура на экранѣ не будетъ постоянною, но представится скручивающеюся и раскручивающеюся, имѣя родъ вращательнаго движенія. Если это случится, то фигура будетъ проходить черезъ рядъ любопытныхъ измѣненій. Рога вышеприведенной фигуры разщепляются съ концовъ, какъ показано въ B (фиг. 18) и въ то время, какъ это расщепленіе раскрывается болѣе и болѣе, расщепленныя части у концовъ болѣе и болѣе разгибаются въ одну линію одна съ другою, пока фигура не станетъ похожею на цифру 8, какъ въ C.



Фиг. 18.

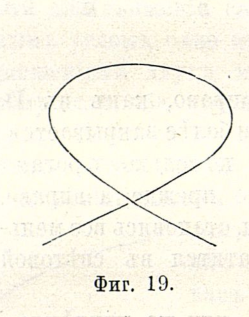
Затѣмъ 8 изгибается посерединѣ вправо, какъ въ D, между тѣмъ какъ расщепленіе болѣе и болѣе закрывается, пока фигура A не появится снова въ E, но только съ рогами обращенными не влѣво, какъ было прежде, а вправо. Такимъ образомъ фигура измѣняется, становясь все меньше и меньше, пока опять не превратится въ свѣтовой кругъ, изъ котораго она вышла.

Выдвигая или вдвигая прутъ D, или же прилѣпляя къ нему или къ пруту C кусокъ воску, можно сдѣлать указанную фигуру (фиг. 17) постоянной во все время, пока вибрируютъ прутья; и когда это будетъ достигнуто, то мы можемъ быть вполнѣ увѣрены, что одинъ изъ прутьевъ дѣлаетъ одну вибрацію, въ то время какъ другой дѣлаетъ ихъ ровно двѣ, потому что скручиваніе и раскручиваніе фигуры происходитъ отъ того, что одинъ изъ

прутьевъ дѣлаетъ чуть-чуть болѣе или менѣе чѣмъ одну вибрацію, въ то время какъ другой дѣлаетъ ровно двѣ.

Этотъ методъ подстраиванія одного вибрирующаго тѣла къ другому до такой степени тонокъ, что онъ какъ самый точный изъ всѣхъ извѣстныхъ методовъ употребляется для того, чтобы привести два камертона къ какому угодно требуемому отношенію между ихъ вибраціями. Поэтому эти фигуры иногда называются „акустическими кривыми". При свѣркѣ этихъ камертоновъ ихъ располагаютъ подобно прутьямъ такъ, чтобы ихъ ножки стояли подъ прямымъ угломъ другъ къ другу и чтобы свѣтъ отражался отъ ихъ полированныхъ ножекъ такъ, какъ это показано на фиг. 16. Затѣмъ напилкомъ снимаютъ нѣсколько металла съ одного изъ камертоновъ или съ концовъ или съ основанія его ножекъ, пока фигура на экранѣ не будетъ оставаться постоянною.

Опытъ 18.—Нажимы надъ прутомъ D ослабляются и онъ выдвигается на столько, чтобы конецъ его выступающій изъ-за краевъ нажимовъ и ящика имѣлъ въ длину $24^3/_{16}$ дюйма ($61_{,38}$ центиметра). Затѣмъ нажимы опять плотно привинчиваются сверху прута. Когда теперь прутья вибрируютъ вмѣстѣ,то мы получаемъ на экранѣ фигуру соотвѣтствующую отношенію 2 : 3 и представленную на фиг. 19.



Фиг. 19.

Опытъ 19.—Повторяя тотъ же опытъ, но съ тою разницею, чтобы свободный конецъ прута D составлялъ $25^5/_8$ дюйма ($65_{,09}$ центиметра); тогда получится фигура соотвѣтствующая отношенію 3 : 4 на фиг. 15.

Опытъ 20.—Если передвинуть D такъ, чтобы свободный вибрирующій конецъ его составлялъ $26\,^1/_4$ дюймовъ ($66_{,7}$ центиметра), то они вмѣстѣ съ прутомъ C дадутъ

фигуру стоящую рядомъ съ отношеніемъ 4 : 5 въ фиг. 15,—что показываетъ, что однпъ прутъ дѣлаетъ 4 вибраціи, въ то время какъ другойдѣлаетъ ихъ 5.

Съ первыхъ разовъ вамъ можетъ быть не удастся получить эти фигуры по тѣмъ указаніямъ, какія сдѣланы здѣсь. Это можетъ произойти оттого, что употребляемые вами сосновыя прутья имѣли упругость и вѣсъ отличныя отъ тѣхъ, которыя дали намъ размѣры длины приведенные въ этой книгѣ. Но вдвигая или выдвигая прутъ D, вы при небольшомъ терпѣніи найдете размѣры длины прута D, которые даютъ желаемыя фигуры. А нашедши эти размѣры, вы должны отмѣтить ихъ карандашемъ, проводя черты на прутѣ вдоль наружнаго нажима F. Эти отмѣтки пригодятся вамъ, когда вы пожелаете повторить эти опыты передъ вашими друзьями. Кусокъ воску можетъ помочь вамъ при отысканіи надлежащей длины прута D. Прилѣпите кусокъ воску къ одному изъ прутьевъ. Если фигура на экранѣ становится болѣе покойною, то это показываетъ, что прутъ, на которомъ воскъ, долженъ быть удлиненъ. Если воскъ показываетъ, что нужно удлинить C, тогда мы укорачиваемъ прутъ D, потому что C постоянно сохраняетъ неизмѣнную длину.

Способъ чертить акустическія кривыя.

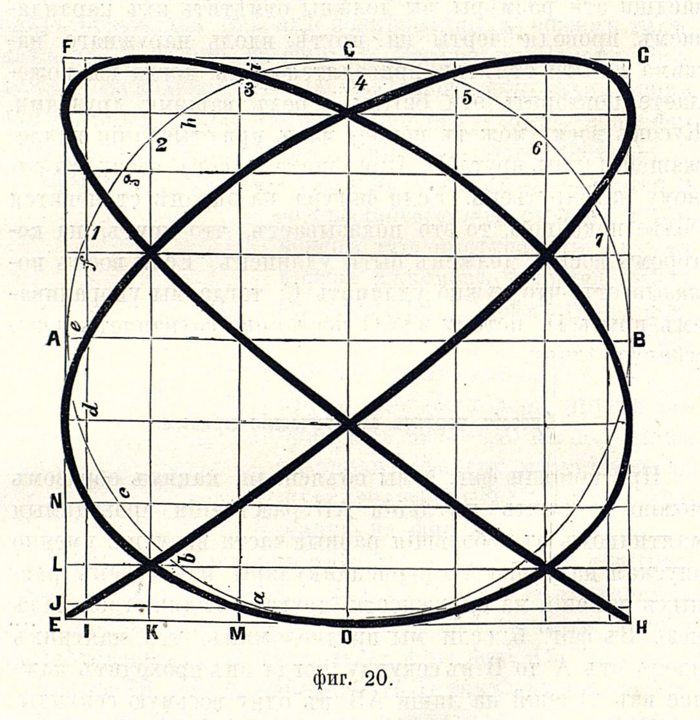
При помощи фиг. 5 мы объяснили, какимъ образомъ можно отложить на линіи AB разстоянія проходимыя маятникомъ въ небольшія равныя части времени, именно опуская на линію AB перпендикуляры изъ точекъ равныхъ дѣленій на окружности круга находящагося надъ нею. Въ фиг. 5, если мы предположимъ, что маятникъ идетъ отъ A до B въ секунду, тогда онъ проходитъ каждое изъ дѣленій на линіи AB въ одну восьмую секунды.

Этотъ способъ получать разстоянія проходимыя ма-

ятникомъ въ послѣдовательныя небольшія части времени даетъ намъ средство чертить самимъ всѣ акустическія кривыя даваемыя двойнымъ маятникомъ Блекборна или двумя вибрирующими прутьями.

Напр., предположимъ, что мы желаемъ начертить кривую, получающуюся тогда, когда два маятника двойнаго маятника или два прута въ нашемъ послѣднемъ опытѣ вибрируютъ въ отношеніи 4 къ 5, т. е. когда одинъ маятникъ или прутъ дѣлаетъ 4 вибраціи, между тѣмъ какъ другой прутъ или маятникъ дѣлаетъ ихъ 5.

Начертите кругъ ACBD (фиг. 20) и заключите его въ



фиг. 20.

квадратъ. Затѣмъ проведите два діаметра AB и CD па-

раллельные сторонамъ квадрата. Раздѣлите полуокружность ACB на 8, т. е. на дважды 4 равныхъ частей и черезъ точки этихъ дѣленій 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, проведите линіи параллельныя діаметру CD. Затѣмъ поверните квадратъ, такъ чтобы діаметръ CD шолъ справа налѣво, Потомъ раздѣлите полуокружность DAC на 10, т. е. на дважды 5 равныхъ частей и черезъ точки этихъ дѣленій a, b, c, d, e, f, g, h, i проведите линіи параллельныя діаметру AB. Этими дѣйствіями мы проводимъ сѣть линій въ квадратѣ EFGH. Пространства на линіи EH или на всякой другой линіи параллельной ей показываютъ разстоянія проходимыя въ равныя времена однимъ вибрирующимъ маятникомъ или прутомъ. Предположимъ что эти равныя времена составляютъ восьмыя доли се, кунды. Пространства же на линіи EF или на всякой другой параллельной ей показываютъ разстоянія, какія проходитъ другой маятникъ или прутъ въ послѣдовательныя восьмыя доли секунды. Начнемъ теперь съ угла E и предположимъ, что отверстіе воронки двойнаго маятника стоитъ надъ этимъ угломъ. Гдѣ будетъ отверстіе воронки въ концѣ первой восьмой доли секунды? Отъ движенія одного маятника она передвинется отъ E до I, а отъ движенія другаго маятника она передвинется отъ E до J. Слѣдовательно въ концѣ первой восьмой доли секунды отверстіе воронки будетъ тамъ, гдѣ пересѣкаются линіи проведенныя черезъ точки I и J. На такомъ же основаніи въ концѣ второй восьмой доли секунды воронка маятника будетъ тамъ, гдѣ встрѣчаются двѣ линіи проведенныя черезъ точки K и L. Теперь вы сразу можете видѣть, какъ чертить фигуру. Нужно начать съ угла E и провести линію къ противоположному углу параллелограма JEI; затѣмъ продолжать ее къ слѣдующему діагонально противоположному углу, все переходя діагонально отъ угла къ углу слѣдующихъ одинъ за другимъ параллелограмовъ. Никогда не выходите ни изъ одного

параллелограма иначе какъ черезъ уголъ, и вы кончите тѣмъ, что нарисуете полную фигуру и тогда окажется что вашъ карандашъ остановится въ углѣ H.

Подобнымъ же образомъ можно начертить кривыя соотвѣтствующія всякому данному отношенію между вибраціями. Черченіе этихъ кривыхъ очень пріятное занятіе. Сдѣлавши линію карандашемъ, вы можете навести и расширить ее или перомъ или кистью, обмакивая ихъ въ китайскую тушь. Если вы развѣсите въ вашей комнатѣ эти доказательства вашихъ успѣховъ въ искуствѣ экспериментированія, то никто не назоветъ этого хвастовствомъ.

Опытъ 21.—Еще одинъ опытъ, и мы начнемъ изученіе вибрацій производящихъ звукъ.

Начертите одну изъ акустическихъ кривыхъ въ квадратѣ съ сторонами въ 3 дюйма и положите фигуру такъ, чтобы центръ ея приходился какъ разъ подъ отверстіемъ воронки двойнаго маятника, когда онъ находится въ покоѣ, и смотрите, чтобы стороны квадрата были параллельны краямъ нижней доски маятника.

Когда двойной маятникъ вполнѣ пристроенъ для того, чтобы чертить фугуру, отведите кружокъ въ сторону, такъ чтобы отверстіе воронки приходилось какъ разъ надъ угломъ квадрата содержащаго фигуру. Насыпьте въ воронку песку и подожгите нитку. Маятникъ начинаетъ свой ходъ и кажется, какъ будто онъ въ своемъ движеніи руководится фигурою лежащею подъ нимъ, потому что онъ сыпетъ песокъ какъ разъ по ея линіямъ самымъ точнымъ образомъ,—что опять весьма изящно показываетъ, что движеніе маятника воспроизводится весьма точно, если смотрѣть на шаръ въ плоскости круга, по которому онъ движется равномѣрно.

ГЛАВА V.

Причина звука состоитъ въ вибраціяхъ твердаго, жидкаго или газообразнаго тѣла.

Въ этой главѣ показывается, что механическія дѣйствія которыя въ конечномъ результатѣ производятъ въ насъ ощущеніе звука, имѣютъ свое начало въ какомъ нибудь вибрирующемъ тѣлѣ и что это тѣло можетъ быть или твердымъ, или жидкимъ, или газообразнымъ.

Опыты съ камертономъ.

Въ музыкальномъ магазинѣ вы можете купить два камертона съ надписью „Philarmonique A". Эти два камертона должны быть точно настроены въ одну ноту. Купите также другой камертонъ съ надписью „Philarmonique C". Въ настоящее время намъ нуженъ только одинъ изъ камертоновъ A; а другіе понадобятся для будущихъ опытовъ.

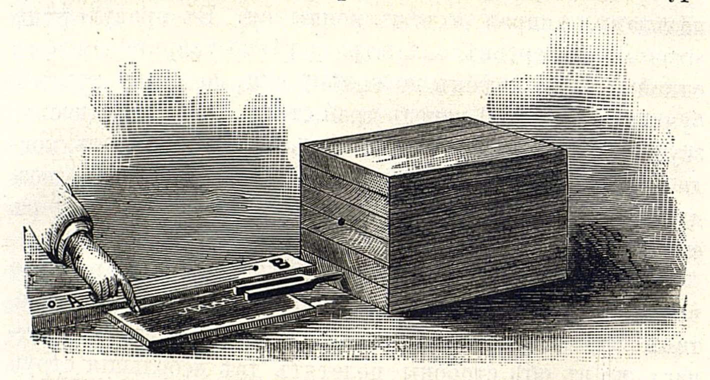
Опытъ 22.—Возьмите спичку и держите ее двумя пальцами, упирая ихъ въ концы ея. Въ правую руку возьмите камертонъ и быстро и рѣзко ударьте концомъ одной изъ его ножекъ по колѣну или по куску толстой бумаги перегнутой черезъ край стола. Затѣмъ поднесите звучащій камертонъ подъ спичку. Въ тотъ моментъ, когда камертонъ коснется спички, она взлетаетъ на воздухъ, какъ будто бы ей былъ сообщенъ быстрый ударъ снизу.

Опытъ 23.—Наполните рюмку водою какъ разъ до верху и, ударивши камертонъ, держите его надъ водою, такъ чтобы концы ножекъ касались поверхности; тотчасъ же въ обѣ стороны полетятъ двѣ небольшія струи брызгъ. Это поразительный опытъ, если на него смотрѣть на экранѣ въ увеличенномъ видѣ, (см. „Свѣтъ" изъ

этой же серіи). Ударъ сообщаемый спичкѣ и вода разбрызгивающаяся изъ рюмки показываютъ, что камертонъ находится въ движеніи, что онъ вибрируетъ или дрожитъ, когда его ударятъ. Ударьте его еще разъ и поднесите къ уху; вы услышите ясный звукъ, плавный и пріятный музыкальный тонъ. Мы заключаемъ изъ этого, что движеніе должно быть причиною звука, потому что звукъ прекращается, когда камертонъ перестаетъ дрожать.

Опытъ 24.—Прилѣпите небольшой кусокъ воску къ широкой сторонѣ ножки камертона на концѣ ея, а къ воску прилѣпите плоскую шляпку гвоздя. Кончикъ гвоздя нужно слегка закруглить напилкомъ. Положите кусокъ листоваго олова на скатерть или на кусокъ сукна, ударьте камертонъ и быстро проведите кончикомъ гвоздя по поверхности листоваго олова. Рядъ точекъ видимыхъ теперь на листовомъ оловѣ показываетъ, что ножка камертона двигалась вверхъ и внизъ, т. е. къ оловянному листу и отъ листа, въ то время, когда мы двигали камертонъ надъ его поверхностью.

Опытъ 25. — Фиг. 21 представляетъ деревяный чурбакъ сдѣланный изъ нѣсколькихъ кусковъ доски рав-



Фиг. 21.

ной величины, наложенныхъ одинъ на другой и сколоченныхъ вмѣстѣ. На одной сторонѣ близъ основанія въ отверстіе сдѣланное въ чурбакѣ вставленъ камертонъ, такъ чтобы онъ держался въ горизонтальномъ положеніи около $^1/_4$ дюйма (6 миллиметровъ) надъ столомъ. Гибкій треугольный кусокъ фольги прикрѣпляется воскомъ къ концу одной изъ ножекъ, чтобы служить вмѣсто пера. Чтобы заставить звучать камертонъ въ этомъ положеніи, намъ нуженъ молотокъ или барабанная палка, которую можно сдѣлать, натянувши кусокъ резиновой трубки на толстую проволоку. Однако всегда лучше заставлять вибрировать камертонъ, проводя скрипичнымъ смычкомъ по одной изъ его ножекъ *).

Возьмите пластинку чистаго стекла въ 3 дюйма ($7_{,6}$ центиметра) ширины и около 8 дюймовъ ($20_{,4}$ центиметра) длины. Закоптите его съ одной стороны при помощи аппарата описаннаго въ Опытѣ 12 и затѣмъ положите ее законченной стороной вверхъ подъ камертонъ, приподнявши его такъ, чтобы фольговое перо на концѣ его не касалось стекла. Затѣмъ рядомъ со стеклянной пластинкой положите прямую деревянную линейку AB (фиг. 21) и прикрѣпите ее къ столу шпильками. Она служитъ для того, чтобы пластинка при движеніи ея подъ камертономъ шла прямо.

Погните внизъ фольговое перо, такъ чтобы оно только что касалось стекла. Въ то время, какъ камертонъ вибрируетъ, двигайте стекло быстро вдоль линейки, стараясь двигать его все время съ одинаковою скоростью.

Затѣмъ посмотрите стекло на свѣтъ и вы увидите

*) Для этого, равно какъ и для другихъ опытовъ, гдѣ требуется смычокъ, лучше всего употреблять контрабасный смычокъ. Такой смычокъ «подержаный» можно достать въ Петербургѣ на Апраксиномъ за 50—75 коп.

Прим. перев.

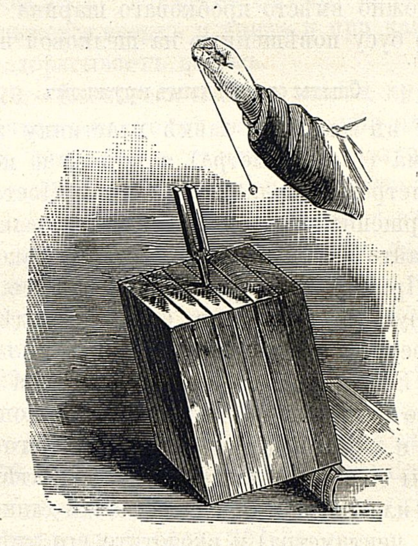
нѣжную волнистую линію, синусоидальный слѣдъ. Мы не можемъ видѣть микроскопическихъ движеній камертона, однако здѣсь мы имѣемъ рисунокъ этихъ движеній. Мы видимъ, легко разбираемъ и понимаемъ его собственную рукопись. Помѣщенный въ водяной волшебный фонарь, этотъ слѣдъ оставленный вибрирующимъ камертономъ можетъ быть показанъ въ увеличенномъ видѣ заразъ многимъ лицамъ. Чтобы сохранить этотъ автографъ камертона, налейте спиртоваго лака на закопченную сторону стеклянной пластинки и когда лакъ высохнетъ, то рисункомъ можно будетъ пользоваться какъ угодно, не боясь испортить его.

Вы должны были замѣтить, что камертонъ даетъ чистый музыкальный звукъ; и здѣсь намъ нужно установить различіе между музыкальнымъ звукомъ и просто шумомъ. Шумъ есть также звукъ, но только неправильный звукъ. Онъ также образуется отъ вибрацій; но эти вибраціи неправильны, то быстры, то медленны, запутанны и безпорядочны. Музыкальный звукъ всегда происходитъ отъ вибрацій, простыхъ или сложныхъ, которыя повторяются правильно, подобно вибраціямъ камертона, которыя вы только что изслѣдовали. Для удобства мы будемъ называть „звуками" всѣ звуки, производимые правильными вибраціями. Всѣ наши эксперименты будутъ имѣть дѣло съ музыкальными звуками и наконецъ приведутъ къ самой музыкѣ.

Опытъ съ вибрирующими камертономъ и пробковымъ шарикомъ.

Опытъ 26.—Фиг. 22 представляетъ камертонъ въ наклонномъ положеніи, которое можно придать ему, подложивши книгу подъ одинъ край чурбака. Вырѣжьте изъ пробки небольшой шарикъ величиною съ горошинку и обмакните его въ спиртовый лакъ; когда онъ высохнетъ, прикрѣпите его къ тонкой ниткѣ сырого шелку. Возь-

мите конецъ шелковой нитки въ лѣвую руку, такъ чтобы шарикъ висѣлъ свободно, а правою рукою ударьте молоткомъ камертонъ. Сейчасъ же подведите шарикъ къ основанію ножки камертона не много повыше того мѣста, гдѣ она соединяется съ рукояткой камертона. Здѣсь шарикъ неподвижно опирается о камертонъ. Затѣмъ немного поднимите шарикъ, такъ чтобы онъ все продол-



Фиг. 22.

жалъ касаться камертона. Тотчасъ же онъ начинаетъ дрожать. Поднимите его повыше, и онъ станетъ отскакивать отъ камертона, дѣлая небольшіе прыжки. Поднимите его еще выше и онъ станетъ двигаться еще сильнѣе; а у самаго конца ножки онъ далеко отскакиваетъ въ сторону, какъ показано въ фиг. 22; затѣмъ онъ падаетъ назадъ къ камертону, но тотчасъ же опять отскакиваетъ въ сторону.

Теперь выньте камертонъ изъ чурбака и поднесите

конецъ его рукоятки къ шарику. Шарикъ дрожитъ. Эти опыты показываютъ, что есть мѣста покоя, неподвижные пункты у основанія нашего камертона и что ножки движутся сюда и туда около этихъ мѣстъ покоя, между тѣмъ какъ рукоятка камертона вибрируетъ вверхъ и внизъ. Опытъ 60 еще болѣе разъяснитъ намъ, какимъ образомъ вибрируютъ ножки камертона. Въ изложенныхъ здѣсь опытахъ можно вмѣсто пробковаго шарика употреблять маленькую бусу повѣшенную на шелковой нити.

Опыты съ мѣднымъ кружкомъ.

Купите въ желѣзной лавкѣ пластинку жолтой мѣди въ $^1/_8$ дюйма (3 миллиметра) толщины и по 6 дюймовъ (15 центиметровъ) въ длину и ширину. Постарайтесь выбрать совершенно ровную пластинку, а если она не ровна, то отдайте мѣднику выровнять ее поколачиваніемъ молотка. Прикажите мѣднику обрѣзать ее такъ, чтобы вышелъ кружокъ, закруглить ея края и сдѣлать въ центрѣ ея отверстіе ровно въ $^3/_{16}$ дюйма (5 миллиметровъ въ діаметрѣ). Если кружокъ для выравниванія колотили молоткомъ, то положите его въ печку, чтобы онъ накалился докрасна, и затѣмъ вынувши, положите его на такое мѣсто, гдѣ бы онъ охлаждался медленно. Затѣмъ отрѣжьте отъ метлы или отъ щетки кусокъ палки длиною въ 6 дюймовъ ($15,_2$ центиметра) и вколотите его крѣпко въ вертикальномъ положеніи въ тяжолый деревянный чурбанъ. Затѣмъ ножемъ обравняйте края на верхушкѣ этой стойки, достаньте винтъ плотно приходящійся къ отверстію въ мѣдномъ кружкѣ и привинтите кружокъ къ верхушкѣ стойки.

Опытъ 27.—Проведите скрипичнымъ смычкомъ осторожно по краю диска и дискъ начнетъ издавать ясный и громкій звукъ; послѣ нѣкотораго упражненія это вамъ легко удастся сдѣлать. Смычекъ попеременно то задѣвая за кружокъ, то скользя по нему, заставляетъ кружокъ ви-

брировать, а вибраціи производятъ звукъ. Чтобы сдѣлать эти вибраціи видимыми, возьмите нѣсколько песку, употреблявшагося въ песочномъ маятникѣ, и разсыпьте его тонкимъ слоемъ по кружку. Теперь, когда вы смычкомъ заставите кружокъ вибрировать, песокъ начнетъ шевелиться и двигаться. Каждое зерно подпрыгиваетъ и падаетъ внизъ, производя курьезное движеніе вродѣ танца. Это движеніе песку показываетъ, что кружокъ сильно дрожитъ, движется вверхъ и внизъ и при каждой почти вибраціи подбрасываетъ песокъ.

Опытъ 28.—Коснитесь пальцемъ края кружка и проведите смычкомъ въ точкѣ на разстояніи одной осьмой окружности, считая отъ пальца. Мы получаемъ очень курьезный результатъ. Песокъ по прежнему начинаетъ бѣшено прыгать и немедленно собирается въ линіи, которыя суть два перпендикулярные одинъ къ другому діаметра, и одинъ изъ діаметровъ начинается изъ той точчи, гдѣ палецъ касается кружка, какъ показано на рисункѣ A (фиг. 23).

Опытъ 29.—Проведите смычкомъ въ точкѣ отстоящей на 30^0 отъ того мѣста, гдѣ палецъ касается кружка и вы увидите, что образуется 6 линій песку, какъ въ B (фиг. 23).

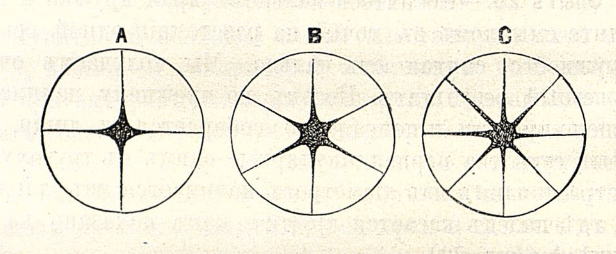
Опытъ 30.—Послѣ небольшого упражненія легко найти мѣсто еще ближе къ пальцу, гдѣ смычокъ сдѣлаетъ 8 линій песку, какъ въ C (фиг. 23) *).

Чтобы понять эти опыты, вы замѣтьте, что когда

*) Произвести эти опыты съ кружкомъ очень легко; и мѣдный кружокъ гораздо удобнѣе, чѣмъ стеклянная пластинка, обыкновенно употребляющаяся для этихъ опытовъ. Такую мѣдную пластинку въ Петербургѣ можно купить на Апраксиномъ, отъ 50 до 70 коп. Выпилить изъ нея кружокъ можно самому при помощи тоненькой пилочки, какая употребляется обыкновенно для выпиливанія. Отверстіе можно сдѣлать маленькимъ дрилемъ и расширить его круглымъ напилкомъ. Напилкомъ же нужно хорошенько обравнять края кружка.

Примѣч. переводч.

смычокъ приводитъ кружокъ въ движеніе, то песокъ на его поверхности начинаетъ танцовать родъ танца. Гдѣ палецъ коснется кружка, тамъ дрожаніе кружка почти останавливается, а гдѣ кружокъ трется смычкомъ, тамъ колебанія пластинки бываютъ наибольшія; поэтому кружокъ принужденъ бываетъ раздѣлиться на вибрирующіе секторы, изъ которыхъ каждый занимаетъ вдвое больше пространства, чѣмъ разстояніе пальца отъ смычка. Каждый секторъ дѣлаетъ качаніе вверхъ въ то время, какъ прилежащіе секторы дѣлаютъ качаніе внизъ,



(фиг. 23).

и наоборотъ. Если это такъ, тогда дискъ всегда долженъ раздѣляться *на четное* число секторовъ. Такъ это всегда и бываетъ. Что кружокъ дѣйствительно вибрируетъ такъ, какъ мы говоримъ, вы окончательно убѣдитесь, когда произведете Опыты 68, 69, 70 и 122.

Линіи раздѣляющія различные секторы находятся почти въ покоѣ, совершенно также какъ мѣста тотчасъ выше ножки камертона, какъ мы видѣли въ Опытѣ 26. Песокъ подбрасываемый вибрирующими частями собирается на этихъ неподвижныхъ мѣстахъ и располагается узенькими грядочками идущими отъ центра кружка. Эти линіи неподвижныхъ мѣстъ называются *узловыми линіями*.

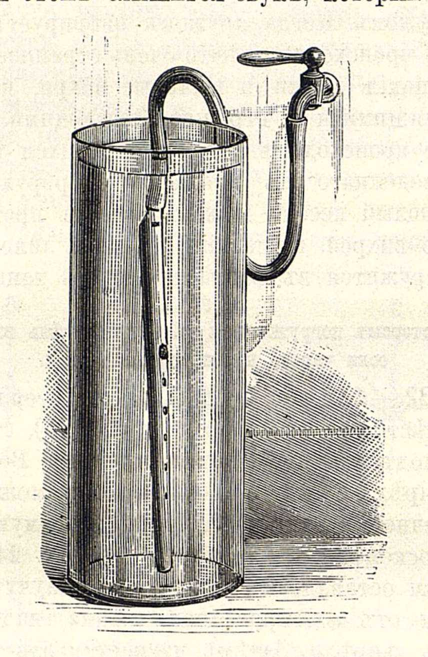
Опытъ 31.—Чтобы сдѣлать эти опыты еще болѣе инте-

ресными, смѣшайте съ пескомъ нѣсколько сухого порошка ликоподія (его можно достать въ аптекѣ) и посыпьте имъ кружокъ. Когда кружокъ вибрируетъ, съ этимъ порошкомъ происходитъ нѣчто очень странное: онъ образуетъ маленькія кучки и пыльные вихри, которые кажутся дымящимися и страшно бушующими. Это странное явленіе происходитъ отъ вращающихся токовъ воздуха, приведеннаго въ движеніе вибрирующимъ дискомъ. Тяжолый песокъ можетъ устоять противъ этихъ маленькихъ вихрей, но легкій порошокъ ликоподія увлекается и кружится въ фантастическомъ танцѣ.

Опытъ, въ которомъ погруженная въ воду свирѣль издаетъ звукъ, если черезъ нее пропускать воду.

Опытъ 32.—Фиг. 24 представляетъ стеклянную банку (но вмѣсто ея можно взять и ведро), стоящую въ раковинѣ подъ водопроводнымъ краномъ. Возьмите оловянную свирѣль, которую можетъ быть можно достать въ игрушечной лавкѣ и залѣпите ея самую верхнюю дырочку воскомъ, какъ показано въ фиг. 24. Всѣ другія дырочки оставляются открытыми. Каучуковая трубка, идущая отъ водопроводнаго крана, надѣвается на мундштукъ свирѣли. Затѣмъ пускается изъ крана вода, которая течетъ по трубкѣ въ свирѣль, а изъ нея въ банку. Банка перополняется водою, которая вытекаетъ черезъ края и течетъ по стѣнкамъ. Все это расположенное такимъ образомъ составляетъ опытъ, показывающій, что жидкость, въ этомъ случаѣ вода, можетъ вибрировать и производить звукъ. Если вытеканіе воды тщательно регулировано и если свирѣль имѣетъ надлежащее устройство, то вы услышите выходящій изъ воды низкій, но отчетливый музыкальный звукъ. Коснитесь стеклянной банки или положеннаго на поверхность воды кусочка бумаги, и вы почувствуете, что они дрожатъ отъ вибрацій. Здѣсь мы имѣемъ свирѣль,

въ которую дуютъ не воздухомъ, а водою и подъ водою, и при этомъ слышится звукъ, который образуется



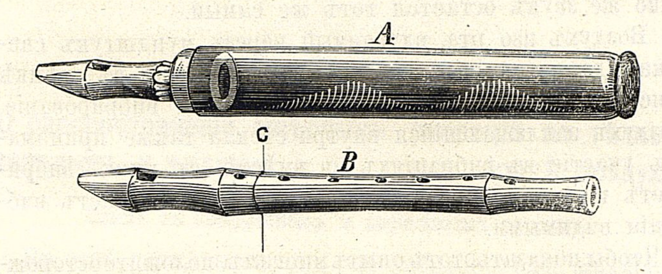
Фиг. 24.

единственно вслѣдствіе вибрацій воды. Это конечно курьезная свирѣль; а самый опытъ столь же поразителенъ, сколько и поучителенъ.

Опытъ профессора Кундта съ свисткомъ и ламповымъ стекломъ, показывающій, что вибрирующій столбъ воздуха можетъ производить звуковыя вибраціи какъ въ воздушныхъ инструментахъ.

Опытъ 33.—Круглыя ламповыя стекла обыкновенно трескаются въ томъ мѣстѣ внизу, гдѣ находится узкій пережимъ. Такое треснувшее стекло очень пригодно для нашихъ опытовъ. Въ А (фиг. 25) представлено та-

кое стекло, у котораго отбита слѣдующая за пережимомъ расширяющаяся часть его и которое съ этого конца залѣплено воскомъ. Въ другой конецъ стекла, вставлена плотно пригнанная пробка, въ центрѣ которой просверлено отверстіе. Въ это отверстіе вставлена



Фиг. 25.

часть обыкновеннаго деревяннаго свистка (дудочки). Въ В представленъ такой свистокъ, а поперечная линія въ С показываетъ, гдѣ его нужно перерѣзать на двѣ части. Намъ нужна только верхняя часть, и она плотно вставляется въ пробку.

Во внутрь стеклянаго цилиндра всыпается небольшое количество весьма тонкаго порошка осажденнаго кремнезема, который кажется есть самый тончайшій порошокъ. Держите ламповый цилиндръ въ горизонтальномъ положеніи и засвистите въ свистокъ. Порошокъ подпрыгиваетъ и располагается въ группы тонкихъ вертикальныхъ пластинокъ, раздѣленныхъ мѣстами, гдѣ порошокъ остается безъ движенія, какъ представлено на рисункѣ. Это прекрасный и поразительный экспериментъ *).

*) Этотъ опытъ произвести очень легко и онъ удается сразу. Въ Петербургѣ нужныя деревяныя дудочки можно достать въ игрушечныхъ магазинахъ; а за порошкомъ осажденнаго кремнезема слѣдуетъ обратиться въ какую нибудь ученую химическую лабораторію, а то его можно заказать и въ аптекѣ.

Примѣч. перевод.

Опытъ 33 а.—Слѣдующій опытъ показываетъ, что звукъ происходитъ отъ вибрацій столба воздуха въ стеклѣ и свисткѣ, а не отъ вибрацій самихъ этихъ твердыхъ тѣлъ. Обхватите плотно руками стекло и свистокъ. Послѣ этого они конечно не могутъ вибрировать, однако же звукъ остается тотъ же самый.

Воздухъ изо рта, вдуваемый черезъ мундштукъ свистка ударяется объ острый край отверстія въ стѣнкѣ свистка и приходитъ въ дрожаніе или вибрированіе. Воздухъ заключающійся внутри стекла также принимаетъ участіе въ вибраціяхъ, а вмѣстѣ съ нимъ вибрируетъ и легкій порошокъ кремнезема, и дѣлаетъ вибраціи видимыми.

Чтобы показать этотъ опытъ многимъ, положите осторожно ламповое стекло на водяной волшебный фонарь передъ геліостатомъ и отбросьте на экранъ изображеніе стекла и порошка. Когда свистокъ зазвучитъ, то всѣ присутствующіе увидятъ, какъ тонкій порошекъ въ стеклѣ расположится въ тонкія, вертикально стоящія пластинки.

Опытъ 34.—Гейеръ сдѣлалъ слѣдующее любопытное водоизмѣненіе этого опыта: Возьмите стеклянную трубку около 2 футовъ (61 центиметръ) длины и $^3/_4$ дюйма (19 миллиметровъ) въ діаметрѣ. Одинъ конецъ этой трубки затыкается пробкой; затѣмъ въ нее всыпается нѣсколько кремнезема. Другой конецъ трубки берется въ ротъ. Если запѣть въ трубку, то раздается тонъ, который заставляетъ кремнеземъ подниматься и располагаться въ группы вертикальныхъ пластинокъ, раздѣленныя мѣстами, гдѣ порошокъ остается безъ движенія; причемъ число этихъ группъ и ихъ положенія въ трубкѣ измѣняются смотря по тону, который мы поемъ.

Мы такимъ образомъ видѣли, что твердыя тѣла, какъ напр. сталь и латунь, могутъ вибрировать и издавать звукъ. Мы слышали музыкальный звукъ, издаваемый вибрирующей водою, а послѣдніе опыты доказали, что

и газъ подобно водѣ тоже можетъ вибрировать и издавать звукъ. Въ слѣдующей главѣ вы найдете опыты, показывающіе, какимъ образомъ эти вибраціи распространяются по тѣламъ твердымъ и жидкимъ и по воздуху.

ГЛАВА VI.

О распространеніи звуковыхъ вибрацій по тѣламъ твердымъ и жидкимъ и по газамъ, вродѣ воздуха.

Опытъ съ камертонсмъ и деревянымъ прутомъ.

Въ этой главѣ показано, что твердое тѣло, жидкость и газъ, вродѣ воздуха, могутъ проводить на извѣстное разстояніе вибраціи, происшедшія въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится источникъ звука.

Опытъ 35.—Возьмите камертонъ и одинъ изъ сосновыхъ прутьевъ, употреблявшихся въ Опытахъ 9 и 17. Пусть ктонибудь, держа прутъ горизонтально, упретъ его однимъ концомъ въ дверной косякъ. Въ это время пусть ктонибудь другой ударитъ камертонъ и прижметъ его рукоятку къ другому свободному концу прута. Тотчасъ же дверной косякъ начинаетъ издавать тонъ камертона. Если снять камертонъ съ конца прута, то звукъ перестаетъ быть слышнымъ. Почему косякъ издаетъ такой громкій звукъ, это мы увидимъ впослѣдствіи и разъяснимъ другими опытами. Въ настоящее же время мы просто отмѣчаемъ тотъ фактъ, что вибраціи камертона доходятъ по пруту до двери.

Опытъ 36.—Держите прутъ у уха и коснитесь другого конца камертономъ; вы весьма отчетливо будете слышать звукъ.

Опытъ 37.—Если вы, держа прутъ въ зубахъ, закроете уши, то всетаки будете слышать звукъ, что показываетъ,

что вибраціи камертона проходятъ по пруту, по зубамъ и по костямъ головы и этимъ путемъ доходятъ до уха.

Опытъ 38.—Приставьте рукоятку вибрирующаго камертона къ головѣ и вы услышите звукъ.

Опытъ 39.—Откройте ротъ и положите въ него карманные часы, стараясь не касаться ихъ зубами, и замѣтьте степень силы слышимаго вами звука. Затѣмъ слегка коснитесь часовъ зубами, и вы тотчасъ же замѣтите, что тиканье часовъ становится гораздо слышнѣе.

Опытъ 40.—Въ игрушечной лавкѣ вы можете купить игрушку, называемую телефономъ *). Она состоитъ изъ двухъ небольшихъ жестяныхъ цилиндровъ, одинъ конецъ которыхъ затянутъ перепонкой, и эти двѣ перепонки соединены длиннымъ шнуркомъ. Пусть кто нибудь держитъ одинъ цилиндрикъ у своего уха, а вы отнесите другой на такое разстояніе, на какое хватитъ шнурокъ, который долженъ быть слегка натянутъ. Затѣмъ ударьте камертонъ и поставьте его рукоятку на цилиндрикъ; вашъ товарищъ съ цилиндрикомъ у уха тотчасъ же услышитъ звукъ. Вибраціи камертона идутъ по первому цилиндрику и перепонкѣ, затѣмъ по шнурку къ другой перепонкѣ, а отъ ней по другому цилиндрику къ уху слушающаго.

Опытъ, въ которомъ звуковыя вибраціи распространяются по водѣ.

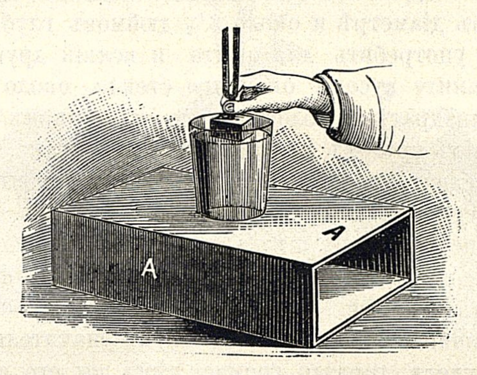
Опытъ 41.—Закажите столяру два деревянныхъ ящика величиною по наружнымъ очертаніямъ 7 3/4 дюйма (49,7 центиметра) длины, 3 7/8 дюйма (9,84 центиметра) ширины и 2 1/2 дюйма (6,4 центиметра) глубины, сдѣланные изъ сосновыхъ досокъ въ 1/4 дюйма (6 миллимет-

*) Въ Петербургѣ такой телефонъ можно найти въ любой игрушечной лавкѣ.

Прим. перевод.

ровъ) толщины. При дѣланіи этихъ ящиковъ, не нужно связывать досокъ въ лапу, ни сколачивать гвоздями, а нужно просто склеить ихъ. Одинъ конецъ ящика оставляется открытымъ. Ударьте камертонъ и, держа его вертикально, поставьте его рукоятку на ящикъ какъ разъ посерединѣ. Вы замѣтите, что звукъ теперь гораздо громче. Почему это такъ, это покажутъ намъ другіе опыты.

Опытъ 42.—На рисункѣ 26 (фиг. 26) представленъ ящикъ. На ящикѣ поставленъ большой стаканъ наполненный водою. Камертонъ вставляется въ деревяный



Фиг. 26.

чурбакъ и ставится на воду. Возьмите въ руку камертонъ съ чурбакомъ и ударьте его; затѣмъ немедленно же погрузите чурбакъ въ воду, какъ показано на рисункѣ. Тотчасъ вы услышите звукъ камертона, выходящій какъ будто изъ ящика. Вибраціи камертона проходятъ черезъ рукоятку къ чурбаку, а отъ него чрезъ воду и чрезъ дно стакана къ ящику. Нашъ опытъ показываетъ такимъ образомъ, что вибраціи легко могутъ распространяться и по жидкости. Вмѣсто стакана съ водою для этого опыта можетъ служить бараній пузырь наполненный водою.

Опыты, показывающіе, что воздухъ постоянно вибрируетъ, когда по нему проходятъ звуковыя вибраціи.

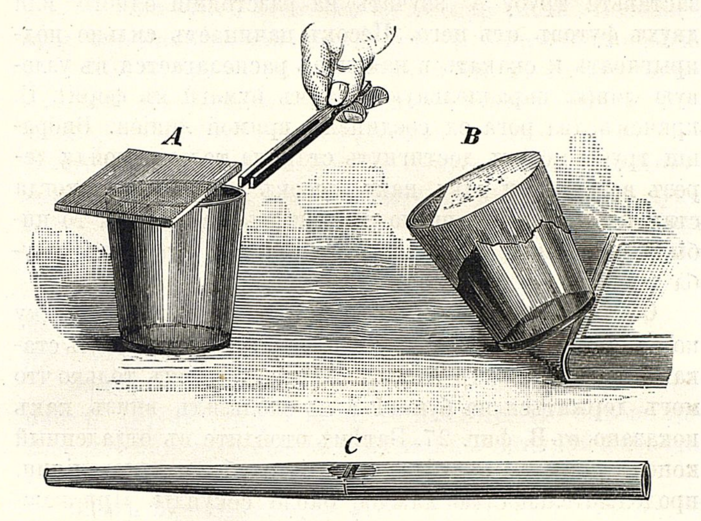
Мы должны теперь присоединить къ нашимъ аппаратамъ еще открытую металлическую трубу A, около $7^1/_2$ дюймовъ (19 центиметровъ) длины, показанную въ C на рисункѣ въ фиг. 27. Эту трубу органный мастеръ долженъ аккуратно настроить въ одинъ тонъ съ вашимъ камертономъ A-philarmonique.

Опытъ 43.—Достаньте стекляный стаканъ около $2^1/_2$ дюймовъ въ діаметрѣ и около $3^1/_2$ дюймовъ глубины, хотя можно употребить для опыта и всякій другой стаканъ. Возьмите кусокъ оконнаго стекла около 3 дюймовъ въ квадратѣ и положите его на стаканъ. Стекло должно вездѣ кругомъ касаться краевъ стакана. Затѣмъ медленно сдвигайте стекло въ сторону, такъ чтобы образовавшееся отъ этого отверстіе въ стаканъ становилось больше и больше; и въ это самое время надъ этимъ отверстіемъ нужно держать звучащій камертонъ, какъ показано въ A на фиг. 27. Вы скоро сдѣлаете отверстіе такой величины, что при немъ звукъ значительно усилится и будетъ гораздо громче, чѣмъ вы его слышали когданибудь прежде отъ одного только камертона. Это происходитъ оттого, что воздухъ въ стаканѣ приходитъ въ вибраціи и такимъ образомъ вибраціи его массы присоединяются къ вибраціямъ камертона. А что это дѣйствительно такъ, въ этомъ вы можете убѣдиться слѣдующимъ опытомъ:

Опытъ 44. Стараясь не сдвинуть пластинки съ ея настоящаго положенія (Опытъ 43), прикрѣпите ее воскомъ къ стакану. Насыпьте въ стаканъ нѣсколько кремнезема, держите его горизонтально и поднесите звучащій камертонъ къ его отверстію и при этомъ внимательно наблюдайте, какимъ образомъ заключенный въ

стаканѣ вибрирующій воздухъ дѣйствуетъ на порошокъ кремнезема.

Опытъ 45. Возьмите кусокъ тонкой бумаги изъ тряпокъ около $4^1/_2$ дюймовъ въ квадратѣ и, смочивши ее, наклеите ее на отверстіе стакана. Когда бумага высохнетъ, то она плотно натянется. Возьмите острый перочинный ножъ и осторожно вырѣжьте часть бумаги, такъ чтобы образовалось отверстіе, какъ показано въ B, на фигурѣ 27. Сдѣлайте сначала небольшое отверстіе и



Фиг. 27.

затѣмъ постепенно дѣлайте его больше и больше. Подносите звучащій камертонъ къ отверстію послѣ каждаго увеличенія его объема и вы скоро найдете такой объемъ отверстія, при которомъ заключенный въ стаканѣ воздухъ будетъ вибрировать вмѣстѣ съ камертономъ и такимъ образомъ значительно усилитъ его звукъ. Вы имѣете теперь массу воздуха настроеннаго въ одинъ

тонъ съ камертономъ и заключоннаго въ сосудѣ, одну изъ стѣнокъ котораго составляетъ кусокъ упругой бумаги. Съ этимъ инструментомъ, который я придумалъ для васъ, вы можете сдѣлать нѣсколько интересныхъ опытовъ.

Опытъ 46. Если воздухъ въ стаканѣ вибрируетъ съ камертономъ A, то онъ конечно будетъ вибрировать и съ трубой A, которая даетъ такой же тонъ, какъ и камертонъ. Разсыпьте нѣсколько песку по бумагѣ и затѣмъ заставьте трубу A звучать на разстояніи одного или двухъ футовъ отъ него. Песокъ начинаетъ сильно подпрыгивать и скакать и наконецъ располагается въ узловую линію, параллельную краямъ бумаги въ формѣ U, причемъ два рога ея соединены прямой линіей. Вибраціи трубы могутъ достигнуть стакана только пройдя черезъ воздухъ, и такъ какъ песокъ вибрируетъ, когда стаканъ помѣщенъ около трубки въ какомъ бы то ни было положеніи, то изъ этого слѣдуетъ, что когда труба звучитъ, то весь воздухъ вокругъ нея вибрируетъ.

Опытъ 47.—Разсыпьте небольшое количество песку по бумагѣ и затѣмъ подложивши тонкую книгу подъ стаканъ, наклоните его настолько, чтобы песокъ только что могъ держаться на бумагѣ и не скользилъ внизъ, какъ показано въ B, фиг. 27. Затѣмъ отойдите въ отдаленный конецъ комнаты и дуйте въ трубу слабыми дуновеніями, продолжительностью каждое около секунды. При каждомъ дуновеніи вашъ пріятель стоящій подлѣ стакана увидитъ, что песокъ дѣлаетъ короткій скачекъ внизъ по бумагѣ и скоро рядомъ скачковъ онъ дойдетъ до края бумаги и упадетъ въ стаканъ. Я въ большой комнатѣ отходилъ на разстояніе 60 футовъ (18,28 метра) и опытъ удавался такъ, какъ я сейчасъ описалъ его.

Опытъ 48.—Снова расположите опытъ, какъ въ опытѣ 47, и стоя на разстояніи трехъ или четырехъ футовъ отъ стакана, пробуйте, какой слабый звукъ можетъ заставить

бумагу вибрировать. Если всѣ части аппарата установлены какъ слѣдуетъ, то вы найдете, что самое слабое дуновеніе, какое только вы можете сдѣлать, заставитъ песокъ двигаться внизъ. Когда вы не дуете въ трубу, онъ остается неподвижнымъ.

Опытъ 49.—Чтобы показать эти опыты въ большихъ размѣрахъ, помѣстите стаканъ передъ геліостатомъ, такъ чтобы лучи солнца только что скользили вдоль плоскости бумаги. Отрѣжьте кусочекъ спички въ $^1/_8$ дюйма длины и расколите этотъ кусочекъ на четыре части. Положите одну изъ нихъ на наклонную бумагу. Конечно изображеніе стакана будетъ обратное, такъ что кусочекъ спички кажется приставшимъ къ нижней сторонѣ бумаги. Если на мѣсто кусочка спички положить бумажную мышь, вырѣзанную изъ гладкой бумаги, то очень забавно бываетъ видѣть, какъ мышь дѣлаетъ скачокъ при каждомъ дуновеніи въ трубу. Я надѣюсь, что читатель не сочтетъ меня ненаучнымъ за то, что я позволилъ себѣ заняться этой забавной игрушкой. Если ноту A не играть на трубѣ, а пѣть голосомъ, то получаются такія же дѣйствія, какъ и въ описанныхъ опытахъ.

Опытъ 50.—Если вы будете пѣть или играть какой нибудь другой тонъ, а не A, то найдете, что онъ не произведетъ никакого дѣйствія на песокъ, лежащій надъ стаканомъ.

Опытъ 51.—Описанные выше опыты со стаканомъ отчасти покрытымъ стекляною пластинкою или натянутою бумагою можно видоизмѣнять и тогда изъ нихъ получатся очень изящные и поучительные опыты.

Возьмите полбутылки перегнанной или дождевой воды и наскребите въ нее около 2 лотовъ бѣлаго содоваго мыла и затѣмъ взболтайте воду. Если не все мыло растворится, прибавьте больше воды, такъ чтобы получился свѣтлый растворъ. Затѣмъ прибавьте четверть бу-

тылки глицерину, взболтайте и дайте отстояться. Это самый лучшій растворъ для дѣланія мыльныхъ пузырей.

Вылейте мыльный растворъ въ тазъ; затѣмъ погрузите въ него отверстіе высокаго стакана (лучше всего отъ 5 до 6 дюймовъ высоты). Затѣмъ, не вынимая стакана изъ мыльной воды, подведите подъ его отверстіе стеклянную пластинку, и прижавши къ нему эту пластинку, выньте его изъ таза и поставьте на столъ отверстіемъ вверхъ. Заставьте звучать камертонъ А и держа его надъ краями стакана, сдвигайте стеклянную пластинку съ отверстія, какъ мы это дѣлали въ другихъ нашихъ опытахъ. Образовавшееся такимъ образомъ отверстіе между краями стакана и краемъ стекляной пластинки будетъ закрыто мыльной пленкой. Приспособьте величину этого отверстія такъ, чтобы воздухъ находящійся въ стаканѣ пришелъ въ вибраціи отъ звучащаго камертона. Когда это будетъ сдѣлано, изъ стакана раздастся громкій звукъ и тонкій мыльный пузырь начнетъ сильно волноваться; его поверхность изгибается и морщится до такой степени разнообразно и сложно, что видъ его даже трудно описать.

Этотъ опытъ лучше всего удается съ очень высокимъ стаканомъ и съ камертономъ и трубой С. Мыльная пленка покрываетъ почти половину отверстія стакана, когда онъ звучитъ на звукъ камертона С.

Чтобы лучше видѣть вибрирующую поверхность мыльной пленки, вы должны расположить ее такъ, чтобы отъ нея отражался свѣтъ неба.

Опытъ 52. При помощи геліостата и чечевицы этому опыту можно придать еще большую прелесть. Прикрѣпите воскомъ стеклянную пластинку къ стакану, такъ чтобы мыльную пленку можно было поставить вертикально и наклонить къ лучу свѣта, идущему отъ геліостата. Посредствомъ плоско-выпуклой чечевицы помѣ-

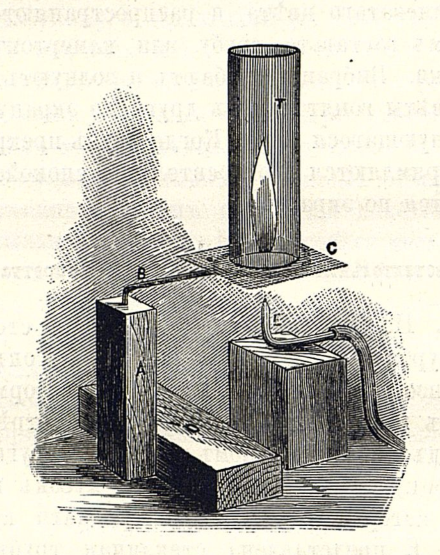
щонной между пленкой и экраномъ вы получите увеличенное изображеніе мыльной пленки.

Когда мыльная пленка стоитъ вертикально, то она стекаетъ и становится тоньше и тоньше, между тѣмъ какъ изображеніе ея дѣлается больше и становится болѣе красивымъ. Являются великолѣпныя полосы красноватаго и синеватаго цвѣта и распространяются по экрану. Затѣмъ заставьте трубу или камертонъ звучать подлѣ пленки. Вибраціи сгибаютъ и волнуютъ цвѣтныя полосы и цвѣты гонятъ другъ друга по экрану подобно валамъ волнующагося моря. Когда звукъ прекращается, полосы выпрямляются и относительное спокойствіе распространяется по экрану.

Опыты съ чувствительнымъ пламенемъ Гови, Барретта и Гейера.

Опытъ 53. На фуг. 28 А есть деревяная стойка прибитая къ чурбаку D. Въ В мы видимъ кусокъ толстой проволоки, изогнутой на одномъ концѣ въ формѣ кольца въ 5 футовъ (12,7 центиметровъ) въ діаметрѣ, потомъ загнутой подъ прямымъ угломъ и вбитой другимъ концомъ въ стойку. На кольцо кладется кусокъ проволочной сѣтки, которая имѣетъ около тридцати петель на дюймъ. Въ Е представлена стеклянная трубка соединенная съ каучуковой трубкой, которая идетъ къ ближайшей газовой горѣлкѣ. Чтобы сдѣлать такую стеклянную трубку или горѣлку, возьмите кусокъ стеклянной трубки около $1/4$ дюйма наружнаго діаметра и 6 дюймовъ (15,2 центиметра) длины и, держа концы ея въ рукахъ, нагрѣвайте трубку на разстояніи около $1 1/2$ дюйма отъ ея конца на спиртовой лампѣ или въ пламени Бунзеновой горѣлки, пока она не размягчится; затѣмъ вытяните трубку, такъ чтобы она уменьшилась до одной четверти въ діаметрѣ. Когда она охладится, проведите ребромъ напилка по узкой части и сломайте трубку. Затѣмъ на-

грѣйте такимъ же образомъ середину этой новой трубки и согните ее подъ прямымъ угломъ, какъ показано въ фиг. 28 и потомъ прилѣпите ее воскомъ къ другому деревяному чурбаку, такъ чтобы верхній конецъ ея былъ на разстояніи около 2 дюймовъ (5,1 центиметра) ниже проволочной сѣтки.



Фиг. 28.

Пустите газъ и зажгите его выше сѣтки, гдѣ онъ будетъ горѣть высокимъ коническимъ пламенемъ около 4 дюймовъ высоты и притомъ верхушка его будетъ жолтая, а основаніе синее. Это и есть чувствительное пламя открытое профессоромъ Гови въ Туринѣ и впослѣдствіи профессоромъ Барреттомъ въ Дублинѣ.

Если вы зашипите, засвищете, тряхнете связкой ключей, похлопаете руками, то пламя тотчасъ же заворчитъ и, понизившись до самой сѣтки, станетъ все синимъ и

почти невидимымъ. Оно называется чувствительнымъ пламенемъ, потому что оно въ самомъ дѣлѣ чувствительно къ звуковымъ вибраціямъ и показываетъ намъ ихъ присутствіе въ воздухѣ.

Опытъ 54.—Гейеръ въ Стевенскомъ технологическомъ институтѣ сдѣлалъ дополненіе къ пламени Гови-Барретта, увеличивающее его чувствительность и заставляющее его звучать, когда его заволнуютъ вибраціи; между тѣмъ какъ въ другомъ видоизмѣненіи опыта пламя поетъ непрерывно и умолкаетъ только тогда, когда его волнуютъ внѣшніе звуки. Я приведу здѣсь его собственное описаніе его опытовъ.

«Чтобы произвести ихъ нужно только покрыть пламя Барретта не слишкомъ широкою трубкой (см. фиг. 28, гдѣ однако она представлена съ значительно большимъ діаметромъ), поставленной свободно на сѣтку. Такимъ образомъ получается свѣтлое пламя отъ 6 до 8 дюймовъ длины, которое очень чувствительно къ высокимъ и рѣзкимъ звукамъ. Если теперь поднять сѣтку и трубку, то пламя постепенно укорачивается и кажется менѣе блестящимъ, а наконецъ сильно волнуется и издаетъ громкій одинаковый звукъ, который можно поддерживать какъ угодно долго. При этихъ условіяхъ внѣшніе звуки не дѣйствуютъ на него. Чувствительное музыкальное пламя получается тогда, если понизить трубку какъ разъ до того пункта, гдѣ пламя перестаетъ пѣть. Въ этомъ положеніи пламя очень замѣчательно. При малѣйшемъ рѣзкомъ звукѣ оно тотчасъ же начинаетъ пѣть и поетъ все время, пока существуетъ возмущающая причина, и останавливается тотчасъ же, какъ она прекращается. Пламя до такой степени быстро на отвѣты, что если мы станемъ бить тактъ пѣсни, насвистывать или играть ее, то пламя, если только тоны достаточно высоки, вѣрно отвѣчаетъ на каждый тонъ. Поднимая или опуская горѣлку газа, можно сдѣлать пламя болѣе или

менѣе чувствительнымъ, такъ что шопотъ гдѣ нибудь въ комнатѣ, побрякиваніе ключами даже въ карманѣ, выпусканіе воды изъ крана, складываніе листа бумаги или даже движеніе руки по столу будутъ возбуждать звукъ. При произнесеніи слова «sensitiv» оно поетъ дважды; и вообще оно прерываетъ говорящаго почти на каждомъ s, или на другомъ свистящемъ звукѣ.

Трубка главнымъ образомъ опредѣляетъ высоту тона, причемъ болѣе короткія трубки производятъ болѣе высокіе тоны, а болѣе длинныя конечно болѣе низкіе тоны. Я чаще всего употреблялъ или стеклянную трубочку въ 12 дюймовъ длинны и $1^1/_4$ дюйма въ діаметрѣ, или мѣдную трубку такихъ же размѣровъ. Изъ нѣсколькихъ грубыхъ кусковъ газовыхъ трубъ каждая давала болѣе или менѣе пріятный звукъ. Между этими газовыми трубками одна имѣла только 7 дюймовъ длины и съ діаметромъ въ 1 дюймъ, между тѣмъ какъ другая имѣла 2 фута длины и $1^1/_4$ дюйма въ діаметрѣ. Третья газовая трубка въ 15 дюймовъ длины и $^3/_4$ дюйма въ діаметрѣ, когда ее употребляли для непрерывнаго звука, давала довольно громкій и пріятный тонъ.

Если отверстіе трубки съ горящимъ газомъ сдвинуть слегка въ сторону, такъ чтобы пламя чуть касалось стѣнки трубки, то иногда получается тонъ нѣсколько ниже основного тона трубки. Этотъ звукъ останавливается всякимъ внѣшнимъ шумомъ, но снова продолжается, если его ничто не возмущаетъ. Всѣ эти опыты могутъ быть произведены при обыкновенномъ давленіи газа въ длинныхъ трубахъ и $^3/_4$ дюйма воды совершено достаточно.

ГЛАВА VII.

О скорости распространенія звуковыхъ вибрацій и о томъ, какъ они распространяются по упругимъ тѣламъ.

О скорости распространенія звуковыхъ вибрацій.

Вамъ вѣроятно приходилось видѣть, какъ рубятъ дрова. Если вы стоите близко отъ рубящаго, то замѣчаете, что ударъ и звукъ его топора бываютъ одновременны. Если же вы отойдете подальше отъ него, то можете замѣтить, если вамъ видно паденіе его топора и слышенъ звукъ удара, что звукъ и ударъ бываютъ неодновременны, но какъ будто звукъ слышится послѣ удара. Если вы удалились на нѣсколько сотъ футовъ, то промежутокъ времени между тѣмъ, какъ вы видите ударъ, и тѣмъ, какъ слышите звукъ его, очень легко замѣтить. Вы можетъ быть также наблюдали когда нибудь, что между огнемъ выстрѣла и звукомъ его проходитъ нѣкоторое время, также какъ и между вылетаніемъ пара изъ свистка и самимъ свисткомъ, если ихъ наблюдать съ значительнаго разстоянія. Всѣ эти явленія убѣждаютъ васъ, что звуковыя вибраціи употребляютъ извѣстное время на прохожденіе по воздуху.

Этотъ предметъ тщательно изученъ учеными и они нашли, что звуковыя вибраціи движутся по воздуху со скоростью 1090 футовъ (332,23 метра) въ секунду. Такова скорость звука при температурѣ замерзанія, т. е. при 0°; на каждый градусъ выше этой температуры скорость звука увеличивается почти на полтора градуса. Такъ напр. въ лѣтнее время температура можетъ

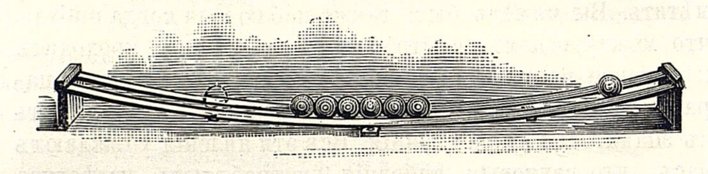
подняться до 35° Р; и при этой температурѣ звукъ распространяется со скоростью 1,138 футовъ въ секунду.

Скорость звуковыхъ вибрацій въ кислородномъ газѣ при 0°—1,040 футовъ въ секунду; въ водородномъ-же газѣ 4,160 футовъ, т. е. какъ разъ въ четыре раза больше. Такъ какъ кубическій футъ водорода вѣситъ въ 16 разъ меньше чѣмъ кубическій футъ кислорода и такъ какъ 4 есть квадратный корень 16, то мы и видимъ, что скорость звуковыхъ вибрацій въ газахъ обратно пропорціональна квадратнымъ корнямъ вѣса равныхъ объемовъ этихъ газовъ.

Звуковыя вибраціи распространяются въ водѣ со скоростью 5,000 футовъ въ секунду, а въ желѣзѣ около 16,000 футовъ въ секунду.

Опыты со стеклянными шарами на изогнутыхъ рельсахъ, показывающіе какимъ образомъ вибраціи распространяются по упругимъ тѣламъ.

Опытъ 55.—Фиг. 29 представляетъ деревянные рельсы около 6 футовъ (183 центиметровъ) длины. Они могутъ



Фиг. 29.

быть сдѣланы изъ сосновыхъ планокъ въ $1\frac{1}{2}$ дюйма (3,8 центиметра) ширины и $\frac{1}{4}$ дюйма (6 миллиметровъ) толщины, положенныхъ рядомъ на разстояніи около одного дюйма (25 миллиметровъ) и соединенныхъ между собою короткими поперечными перекладинами прибитыми къ нимъ гвоздями. Достаньте въ игрушечной лавкѣ шесть или семь большихъ стеклянныхъ шаровъ.

Они нужны для того, чтобы они катались между двумя планками. Положите рельсы на столѣ или на полу и прикрѣпите ихъ по серединѣ винтомъ ввинченнымъ въ поперечную перекладину и затѣмъ поднимите оба конца и подложите подъ нихъ деревянныя подставки, какъ показано въ фиг. 29.

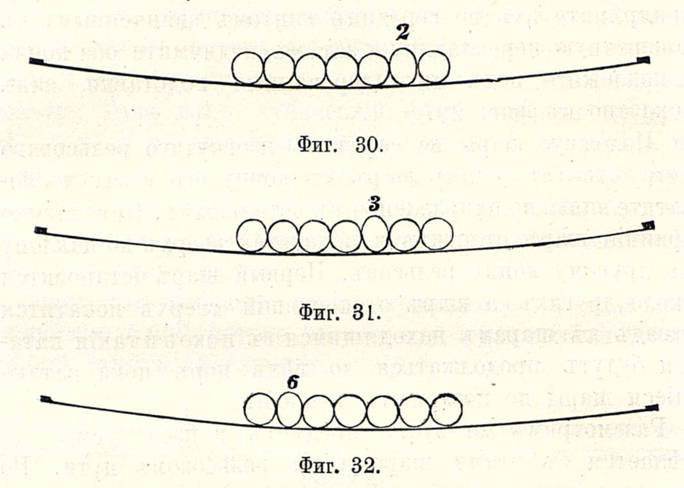
Положите шары на серединѣ изогнутаго рельсоваго пути, откатите одинъ шаръ къ концу его и затѣмъ покатите внизъ по направленію къ остальнымъ. Немедленно крайній шаръ отлетитъ и покатится вверхъ по наклону къ другому концу рельсовъ. Первый шаръ остановится около другихъ, а шаръ отскочившій вверхъ покатится назадъ къ шарамъ находящимся въ покоѣ и такія катанія будутъ продолжаться до тѣхъ поръ пока катающіеся шары не потеряютъ движенія.

Разсмотримъ же этотъ предметъ и изслѣдуемъ, что дѣлается съ этими шарами на рельсовомъ пути. Во первыхъ, вы должны замѣтить, что шары упруги, потому что опытъ покажетъ, что они отскакиваютъ подобно каучуковымъ шарамъ, если ихъ заставить падать на каменную или изразцовую плиту.

Опытъ 56.—Чтобы показать, что шаръ упругъ и сплющивается или дѣлается площе, когда ударится о камень, сдѣлайте слѣдующій опытъ: смѣшайте нѣсколько масла съ небольшимъ количествомъ сурика или другой краски и смажьте этимъ составомъ плоскій, гладкій камень вродѣ плиты. Положите на него шаръ и замѣтьте величину круглаго пятна оставляемаго имъ. Затѣмъ подымите шаръ и пусть онъ упадетъ на камень; вы замѣтите теперь большое круглое пятно оставленное имъ на камнѣ по паденіи на него. Это показыветъ, что когда шаръ ударился о камень, то онъ сплющился и коснулся большей поверхности на камнѣ.

Первый шаръ катился внизъ и наносился сильный

ударъ въ бокъ шару № 2. Этотъ шаръ также сплющивается между №№ 1 и 3, какъ показано на фиг. 30.



Фиг. 30.

Фиг. 31.

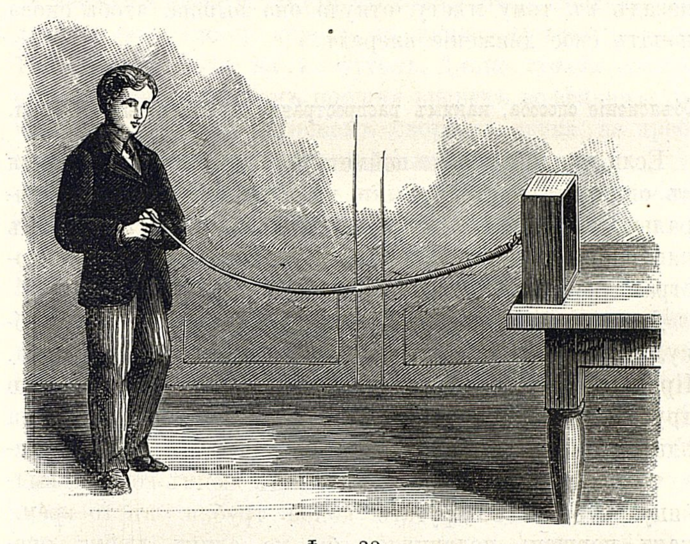
Фиг. 32.

Шаръ № 2 немедленно снова принимаетъ свою прежнюю сферическую форму и дѣлая это, приводитъ № 1 въ покой или останавливаетъ его движеніе, а также дѣйствуетъ на № 4 и сплющиваетъ его. Такимъ образомъ каждый шаръ передаетъ полученный имъ ударъ слѣдующему вслѣдствіе своей упругости и каждый шаръ сплющивается и затѣмъ опять возвращается къ своей естественной формѣ, и такимъ образомъ мы имѣемъ рядъ сжиманій и расширеній проходящихъ черезъ всю серію шаровъ. Наконецъ послѣдній шаръ тоже сплющивается и тотчасъ же расширившись, давитъ на шаръ сообщившій ему ударъ и останавливаетъ его движеніе; и въ тоже время такъ какъ онъ не встрѣчаетъ сопротивленія впереди себя, то его обратное дѣйствіе на шаръ находящійся сзади его заставляется его двигаться вверхъ по рельсамъ. Такимъ образомъ послѣдній шаръ № 7 движется вверхъ по рельсамъ отъ дѣйствія силы идущей отъ шара № 1

и передавшейся черезъ всѣ шары посредствомъ ихъ послѣдовательныхъ сжиманій и расширеній.

Опыты съ длинной пружиной, показывающіе какъ вибраціи распространяются и отражаются.

Опытъ 57.—Достаньте мѣдную проволоку, завитую въ формѣ спиральной пружины, около 12 футовъ длиною. Возьмите сигарный ящикъ, снимите съ него крышку и поставьте его однимъ бокомъ на край стола, такъ чтобы дно ящика было обращено кнаружи. Плотно привинти-



Фиг. 33.

те этотъ ящикъ къ столу и затѣмъ ввинтите въ дно ящика небольшой желѣзный или мѣдный крючокъ, какъ показано въ фиг. 39. Надѣньте на этотъ крючокъ петлю сдѣланную на концѣ длинной спиральной пружины. Другой конецъ пружины держите въ рукѣ, такъ чтобы

она свободно висѣла между рукою и ящикомъ. Всуньте ноготь или кончикъ ножа между оборотами проволоки близъ руки и раздвиньте обороты. Затѣмъ быстро выньте ноготь, и тогда выбрація или ударъ пойдетъ отъ одного оборота къ другому вдоль всей пружины и въ ящикѣ послышится громкій стукъ или ударъ, который отражается отъ него къ рукѣ и затѣмъ опять къ ящику и т. д. Здѣсь мы имѣемъ прекрасное наглядное разъясненіе того, какимъ образомъ вибрація можетъ проходить по упругому веществу и быть слышною какъ звукъ на одномъ концѣ, затѣмъ отражаться отсюда назадъ къ тому мѣсту, откуда она вышла, чтобы снова начать свое движеніе впередъ.

Объясненіе способа, какимъ распространяются звуковыя вибраціи.

Если учащійся ясно пойметъ дѣйствія совершающіяся въ опытахъ со стеклянными шарами и пружинною спиралью, то ему не трудно будетъ понять, какъ ударъ или вибрація могутъ подобнымъ же образомъ распространяться по упругому воздуху.

Для простоты вообразимъ себѣ весьма длинную трубку, въ которой на одномъ концѣ находится поршень. Предположимъ, что этотъ поршень быстро движется по трубкѣ впередъ на небольшое разстояніе, положимъ на одинъ дюймъ, и затѣмъ останавливается. Еслибы воздухъ былъ не упругъ, тогда одинъ дюймъ воздуха выдвинулся бы изъ другаго конца трубки, въ то время какъ поршень подвинулся бы на одинъ дюймъ впередъ. Но воздухъ упругъ; онъ сжимается отъ движенія поршня; и потому послѣ того какъ поршень подвинулся впередъ, пройдетъ нѣсколько времени, прежде чѣмъ придетъ въ движеніе воздухъ на другомъ концѣ трубки. Если трубка имѣетъ 1100 футовъ длины, а температура воздуха около 5°Р., то пройдетъ цѣлая секунда прежде

чѣмъ придетъ въ движеніе конецъ воздушнаго столба; потому что звуковой вибраціи нужно столько именно времени, чтобы пройти 1100 футовъ, и механическое дѣйствіе воздуха при указанной температурѣ не можетъ распространяться по немъ съ большею скоростью чѣмъ эта.

Теперь предположимъ, что поршень употребляетъ $^1/_{10}$ секунды на свое движеніе впередъ по трубкѣ; спрашивается, какъ далеко будетъ сжатъ воздухъ впереди его въ то мгновеніе, когда поршень остановился? Мы получимъ отвѣтъ, если возьмемъ $^1/_{10}$ 1100 футовъ, что будетъ 110 футовъ. Если поршень употребляетъ $^1/_{100}$ секунды на движеніе впередъ, тогда въ концѣ этого времени воздухъ будетъ сжатъ передъ поршнемъ на пространствѣ 1100 футовъ или на 11 футовъ. Длина столба воздуха сжимаемаго движеніемъ поршня впередъ во всякомъ случаѣ опредѣляется дѣленіемъ скорости звука на дробь секунды, въ теченіи которой движется поршень.

Этотъ сжатый воздухъ въ трубкѣ не можетъ оставаться въ покоѣ, потому что онъ теперь находится совершенно въ такомъ же положеніи, какъ сжатый шаръ № 2 на фиг. 30. Онъ расширяется и расширяясь, дѣйствуетъ назадъ на неподвижный поршень, но впереди передъ собою сжимаетъ другой столбъ воздуха равный ему по длинѣ; этотъ въ свою очередь дѣйствуетъ подобно шару № 3 на фиг. 31, останавливая движеніе столба воздуха находящагося сзади его и сжимая другой столбъ находящійся впереди его; и такимъ образомъ сжиманіе проходитъ по трубкѣ въ 1100 футовъ длины въ одну секунду.

Когда поршень движется назадъ по трубкѣ, тогда впереди поршня образуется столбъ разрѣженнаго или расширеннаго воздуха, что происходитъ отъ того что воздухъ расширяется въ пустое пространство образовавшееся вслѣдствіе движенія поршня назадъ; и это разрѣ-

женіе будетъ идти впередъ по воздуху совершенно такъ же какъ шло сжатіе.

Теперь вообразите, что поршень движется въ трубкѣ туда и сюда, взадъ и впередъ; онъ сообщитъ столбу воздуха сгущенія и разрѣженія, слѣдующія одно за другимъ въ правильномъ порядкѣ. Если мы имѣемъ тѣло вибрирующее свободно въ открытомъ воздухѣ, то вокругъ него образуются шарообразные слои сгущеннаго и разрѣженнаго воздуха, и эти слои будутъ постоянно расширяться кнаружи, становясь все больше и больше и слѣдуя другъ за другомъ въ правильномъ порядкѣ и движеніи, подобно правильному движенію круговыхъ водяныхъ волнъ, распространяющихся кнаружи вокругъ центра возмущенія на поверхности пруда. Эти звуковыя вибраціи идутъ во всѣхъ направленіяхъ отъ вибрирующаго тѣла, совершенно также какъ свѣтъ разливается во всѣхъ направленіяхъ вокругъ свѣтящагося тѣла. Опыты надъ свѣтомъ показываютъ, что освѣщеніе данной поверхности измѣняется въ своей силѣ обратно пропорціонально квадрату ея разстоянія отъ источника свѣта. Подобнымъ же образомъ сила или громкость звука ослабѣваетъ обратно пропорціонально квадрату нашего разстоянія отъ вибрирующаго тѣла. Такъ на 100 футовъ сила звука составляетъ только $^1/_4$ часть противъ того, что она была на 50 футовъ, а на 200 футовъ сила его будетъ только $^1/_{16}$ противъ того какъ она была на разстояніи 50 футовъ.

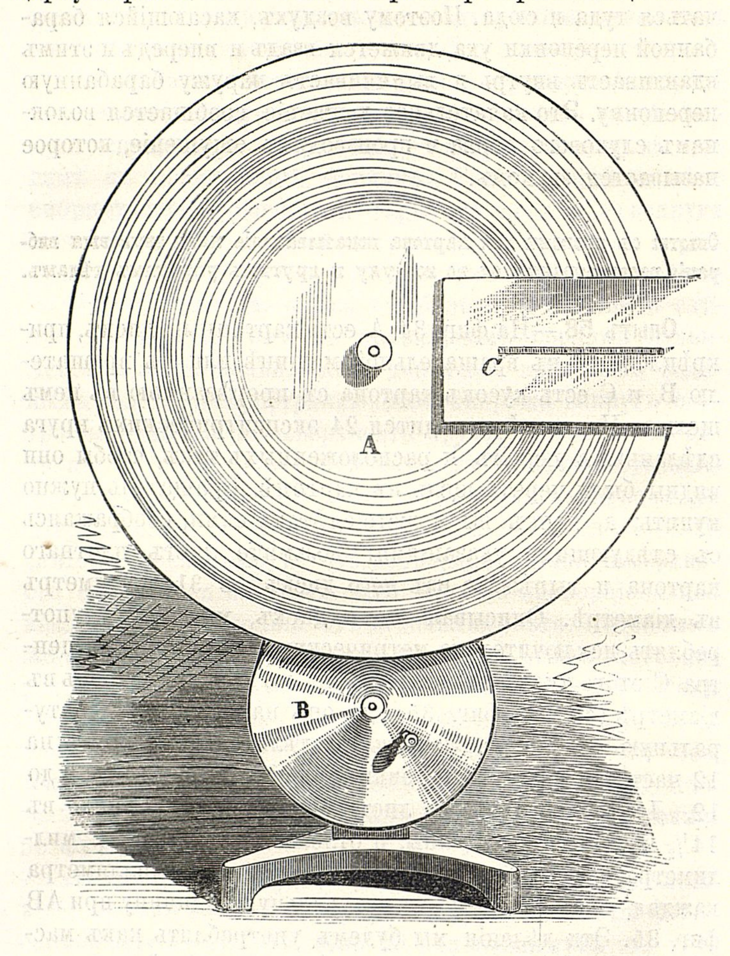
Но каково же будетъ дѣйствіе какой нибудь части воздуха, хотя напр. той, которая соприкасается съ барабанной перепонкой уха, если до нея достигнутъ эти сгущенія и разрѣженія? Очевидно, что во время прохожденія сгущеній молекулы (малѣйшія частички) воздуха сближаются между собою, затѣмъ снова занимаютъ свое естественное положеніе и расходятся еще дальше вслѣдствіе разрѣженія, которое слѣдуетъ тотчасъ же. Слѣд-

ствіемъ этого будетъ то, что всякая молекула будетъ качаться туда и сюда. Поэтому воздухъ, касающійся барабанной перепонки уха, движется взадъ и впередъ и этимъ вдавливаетъ внутрь и выпячиваетъ наружу барабанную перепонку. Это качательное движеніе сообщается волокнамъ слухового нерва и производитъ ощущеніе, которое называется звукомъ.

Опыты съ дискомъ изъ картона показывающіе какъ звуковыя вибраціи распространяются по воздуху и другимъ упругимъ тѣламъ.

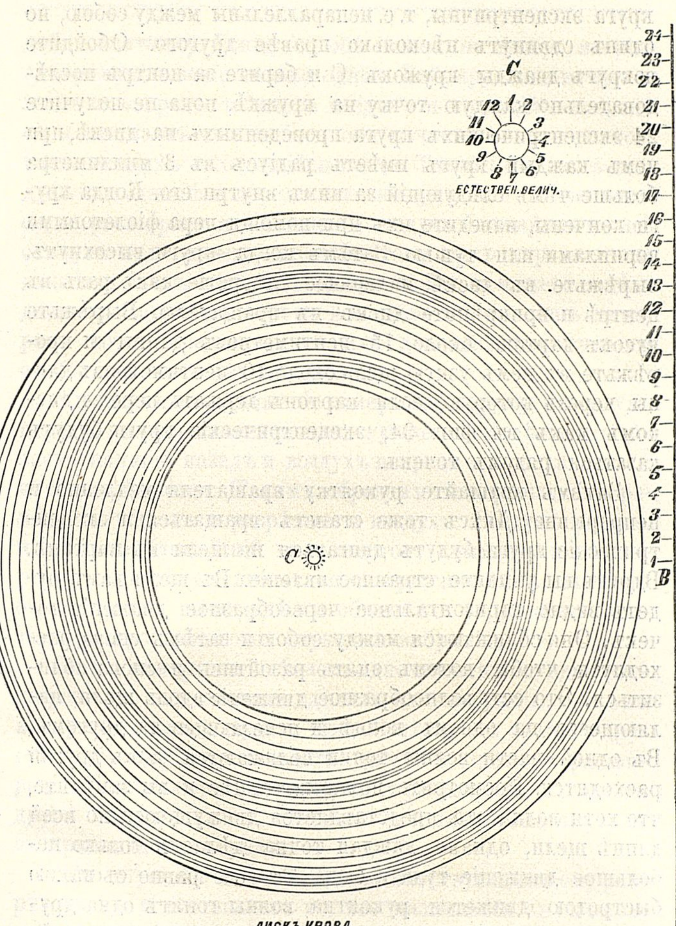
Опытъ 58.—На фиг. 34 A есть картонный дискъ, прикрѣпленный къ вращательной машинѣ или къ вращателю B, и C есть кусокъ картона съ прорѣзанною въ немъ щелью. На дискѣ находится 24 эксцентрическихъ круга сдѣланныхъ перомъ и расположенныхъ такъ, чтобы они видны были черезъ щель въ картонѣ. Вращатель нужно купить; а дискъ вы можете сдѣтать сами, соображаясь съ слѣдующими указаніями: возьмите листъ плотнаго картона и вырѣжьте изъ него дискъ въ 31 центиметръ въ діаметрѣ. Описывая этотъ дискъ, мы будемъ употреблять исключительно метрическую мѣру. Вокругъ центра C этого диска сдѣлайте кругъ въ 5 миллиметровъ въ діаметрѣ (см. C, фиг. 35, гдѣ онъ нарисованъ въ натуральную величину). Затѣмъ раздѣлите этотъ кругъ на 12 частей и обозначьте точки дѣленія цифрами отъ 1 до 12. Далѣе проведите на листѣ бумаги прямую линію въ $14\frac{1}{2}$ центиметровъ длины, и отложивши на ней 72 миллиметра, раздѣлите ихъ на 24 части въ 3 миллиметра каждая, какъ показано въ натуральную величину при AB фиг. 35. Эти дѣленія мы будемъ употреблять какъ масштабъ при раздвиганіи ножекъ циркуля. Затѣмъ начертите кругъ циркулемъ, раздвинутымъ на $7\frac{1}{2}$ центиметровъ, отъ A до B, фиг. 35, взявши за центръ точку № 1 на верху круга C на картонѣ. Затѣмъ раздвиньте ножки

циркуля ровно на 3 миллиметра шире при помощи мас-



Фиг. 34.

штаба только что сдѣланнаго, и сдѣлайте другой кругъ, взявши точку № 2 за центръ. Вы замѣтите, что эти два


C
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
ЕСТЕСТВЕН. ВЕЛИЧ.
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
B
A
C
ДИСКЪ КРОВА
1/3 ЕСТЕСТВЕН. ВЕЛИЧ.

Фиг. 35.

*

круга эксцентричны, т. е. непараллельны между собою, но одинъ сдвинутъ нѣсколько правѣе другого. Обойдите вокругъ дважды кружокъ С и берите за центръ послѣдовательно каждую точку на кружкѣ, пока не получите 24 эксцентрическихъ круга проведенныхъ на дискѣ, при чемъ каждый кругъ имѣетъ радіусъ въ 3 миллиметра больше чѣмъ слѣдующій за нимъ внутри его. Когда круги кончены, наведите ихъ при помощи пера фіолетовыми чернилами или тушью. Затѣмъ когда круги высохнутъ, вырѣжьте въ дискѣ маленькое отверстіе какъ разъ въ центрѣ и прикрѣпите дискъ къ вращателю. Вырѣжьте кусокъ картона около 15 центиметровъ длины и прорѣжьте въ немъ узкую щель около 10 центиметровъ длины, черезъ которую, если картонъ держать передъ дискомъ какъ въ фиг. 34, эксцентрическіе круги будутъ казаться рядомъ точекъ.

Затѣмъ вращайте рукоятку вращателя медленно и непрерывно. Дикcъ тоже станетъ вращаться и эксцентрическіе круги будутъ двигаться по щели въ картонѣ. Вдругъ вы увидите странное явленіе. Въ щели вамъ будетъ видно горизонтальное червеобразное движеніе точекъ. Они сближаются между собою и затѣмъ снова расходятся, чтобы потомъ опять разойтись и снова сблизиться. Это есть волнообразное движеніе вдоль щели, являющееся на одномъ концѣ и исчезающее на другомъ. Въ одной части волны точки сближаются, а въ другой расходятся. Посмотрите повнимательнѣе и вы замѣтите, что хотя волна эта представляется движущеюся по всей длинѣ щели, однако каждая точка дѣлаетъ только небольшое движеніе туда и сюда. Это все равно съ какою быстротою движется рукоятка, волны гонятъ одна другую вдоль щели, и каждая точка держится въ опредѣленной границѣ, качаясь сюда и туда, въ то время какъ проходитъ волна.

Мы уже узнали, что ножки камертона вибрируютъ по-

добно маятнику. Движутся обѣ ножки, но теперь мы разсмотримъ движеніе только одной. Вибрируя, она качается взадъ и впередъ, толкаетъ воздухъ находящійся впереди ея и сжимаетъ его; затѣмъ она качается назадъ и толкаетъ воздухъ находящійся сзади. Такимъ образомъ воздухъ находящійся передъ нею поперемѣнно то сжимается, то расширяется, и молекулы воздуха ближайшія къ ней скачутъ туда и сюда, подобно тому какъ первая точка качается взадъ и впередъ за щелью. Вы не можете видѣть движеніе молекулъ передъ камертономъ, но вашъ аппаратъ точно представляетъ ихъ движенія, такъ что вы свободно можете изучать ихъ.

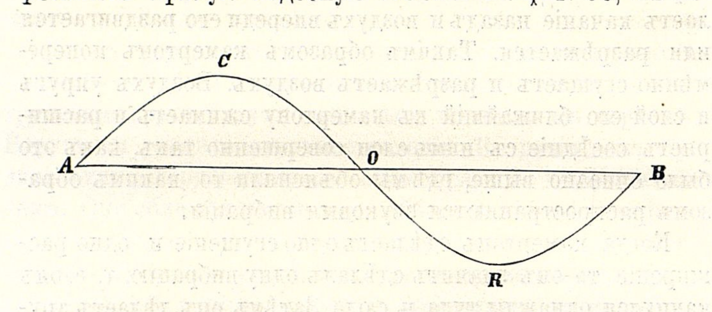
Сначала идетъ движеніе камертона наружу и воздухъ передъ нимъ сжимается или сгущается. Затѣмъ онъ дѣлаетъ качаніе назадъ и воздухъ впереди его раздвигается или разрѣжается. Такимъ образомъ камертонъ поперемѣнно сгущаетъ и разрѣжаетъ воздухъ. Воздухъ упругъ и слой его ближайшій къ камертону сжимаетъ и расширяетъ сосѣдніе съ нимъ слои совершенно такъ, какъ это было описано выше, гдѣ мы объясняли то, какимъ образомъ распространяются звуковыя вибраціи.

Когда камертонъ сдѣлаетъ одно сгущеніе и одно расширеніе, то онъ значитъ сдѣлалъ одну вибрацію, т. е. онъ качнулся однажды туда и сюда. Затѣмъ онъ дѣлаетъ другую вибрацію и производитъ другое сгущеніе и расширеніе. Такимъ образомъ сгущенія и расширенія слѣдуютъ другъ за другомъ и движутся отъ камертона попарно въ правильномъ порядкѣ.

Одно сгущеніе вмѣстѣ съ соотвѣтствующимъ ему разрѣженіемъ и составляетъ то, что называется звуковою волною. Если камертонъ напр. вибрируетъ ровно одну секунду и затѣмъ останавливается, то воздухъ на разстояніи 1100 футовъ вокругъ него будетъ состоять изъ слоевъ сгущеннаго и разрѣженнаго воздуха. Такимъ образомъ, такъ какъ одна вибрація камертона туда и сюда

дѣлаетъ одинъ слой сгущеннаго воздуха и сосѣдній съ нимъ слой разрѣженнаго воздуха, то мы можемъ найти общую толщину этихъ двухъ слоевъ, раздѣливши 1100 футовъ (скорость звука) на число вибрацій дѣлаемыхъ камертономъ въ одну секунду. Такъ какъ камертонъ A дѣлаетъ 440 вибрацій въ одну секунду, то слѣдовательно толщина двухъ слоевъ—одного сгущеннаго и одного разрѣженнаго воздуха—произведенныхъ этимъ камертономъ равно 1100: 440, что даетъ $2^1/_2$ фута. Полученная такимъ образомъ длина называется д л и н о ю в о л н ы. Очевидно, что чѣмъ больше число вибрацій въ секунду, тѣмъ короче образующіяся волны.

Ученые для представленія звуковой волны всегда употребляютъ кривую подобную ACORB на фиг. 36, въ ко-



Фиг. 33.

торой часть кривой ACO выше линіи AB означаетъ сгущенную половину волны, между тѣмъ какъ часть ORB ниже AB означаетъ разрѣжонную волну и перпендикулярная высота какой нибудь части кривой ACO надъ линіей AB показываетъ количество сгущенія воздуха въ этой части волны; между тѣмъ какъ подобныя линіи проведенныя къ кривой ORB ниже AB показываютъ количество разрѣженія въ этихъ точкахъ волны.

Кривая ACORB не есть дѣйствительное и вѣрное

изображеніе звуковой волны; это только удобный способъ выразить ея длину и то, какъ воздухъ въ ней сгущенъ и разрѣжонъ; потому что звуковые волны не имѣютъ вида возвышеній и углубленій подобно волнамъ, которыя вы видите на морѣ. Они—не возвышенія и углубленія воздуха, но только сгущенія и разрѣженія воздуха. Словомъ сказать, фиг. 36 есть только удобный символъ или знакъ для представленія звуковой волны.

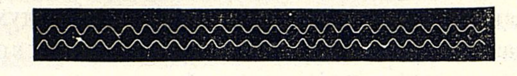
Опытъ 59.—Смотрите на рядъ точекъ, видимыхъ въ щель, когда дискъ находится въ покоѣ и найдите двѣ точки, которыя всего ближе одна къ другой; это мѣсто въ щели соотвѣтствуетъ точкѣ C въ фиг. 36. Затѣмъ найдите двѣ точки, которыя всего дальше одна отъ другой; это мѣсто соотвѣтствуетъ R въ фиг. 36. Разстояніе отъ C до R есть половина длины волны; такимъ образомъ разстояніе между двумя смежными мѣстами, гдѣ точки всего ближе одна къ другой, равно длинѣ одной цѣлой волны.

ГЛАВА VIII.

Объ интерференціи звуковыхъ вибрацій и о толчкахъ звука.

Опытъ 60.—Вырѣжьте изъ мѣдной фольги два небольшихъ треугольника одинаковой величины и воскомъ прилѣпите ихъ къ ножкамъ камертона. Вставьте камертонъ въ деревянный чурбакъ и пристройте къ нему вашу линейку (какъ въ опытѣ, фиг. 21). Приготовьте полоску закопченаго стекла и затѣмъ, заставивши камертонъ вибрировать, двигайте подъ нимъ стекло; вы получите двѣ линіи, отъ каждой ножки одну.

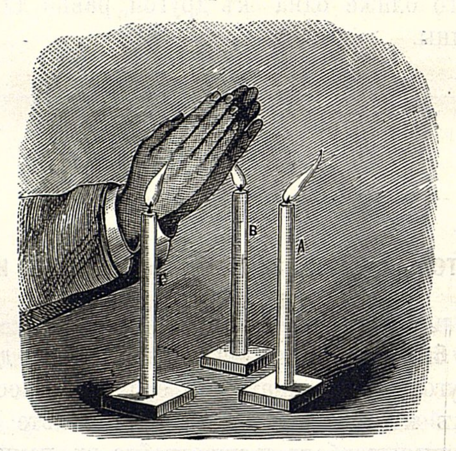
Держа стекло на свѣтъ, вы увидите двойную извилистую линію, какъ представлено на фиг. 37. Вы замѣтите, что волнистыя линіи сходятся и расходятся между собою. Это показываетъ, что двѣ ножки, вибрируя, дви-



Фиг. 37.

жутся въ одно и то же время не въ одномъ и томъ же направленіи, но всегда въ противоположныхъ направленіяхъ. Они качаются въ направленіи то другъ къ другу, то другъ отъ друга.

Опытъ 61.—Какое дѣйствіе на воздухъ производитъ это движеніе ножекъ камертона? Простой опытъ дастъ намъ отвѣтъ на этотъ вопросъ.



Фиг. 38.

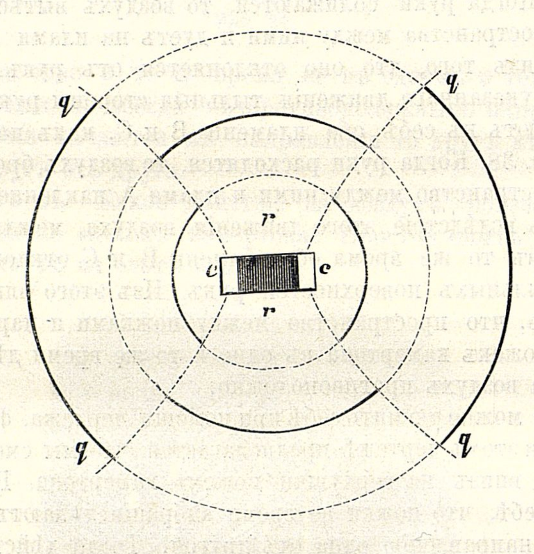
Поставьте три зажжонныя свѣчки на столѣ въ A, B и C (фиг. 38). Держите руки отвѣсно и такъ, чтобы про-

странство между ладонями находилось противъ A, а тыльныя части рукъ были обращены къ свѣчкамъ B и C. Затѣмъ приближайте руки одну къ другой и раздвигайте ихъ, и дѣлайте эти движенія постоянно и не слишкомъ быстро. Вы такимъ образомъ подражаете движеніямъ ножекъ камертона. Въ то время какъ вы вибрируете руками, наблюдайте внимательно надъ пламенемъ свѣчекъ. Когда руки сближаются, то воздухъ вытѣсняется изъ пространства между ними и дуетъ на пламя A, что видно изъ того, что оно отклоняется отъ рукъ. Но во время указаннаго движенія тыльныя стороны рукъ притягиваютъ къ себѣ оба пламени B и C, какъ показано на фиг. 38. Когда руки расходятся, то воздухъ бросается въ пространство между ними и пламя A наклоняется къ рукамъ вслѣдствіе этого движенія воздуха, между тѣмъ какъ въ то же время оба пламени B и C отклоняются отъ тыльныхъ поверхностей рукъ. Изъ этого опыта мы видимъ, что пространство между ножками и наружные бока ножекъ камертона въ одно и то же время дѣйствуютъ на воздухъ противоположно.

Это можно уяснить себѣ при помощи чертежа, фиг. 39.

При этомъ чертежѣ предполагается, что мы смотримъ сверху внизъ на верхушки ножекъ камертона. Вообразимъ себѣ, что ножки во время вибраціи дѣлаютъ качаніе по направленію одна отъ другой. Тогда дѣйствіе на воздухъ наружныхъ боковъ камертона c и c состоитъ въ сгущеніи, и это сгущеніе стремится распространиться вездѣ вокругъ камертона. Но вслѣдствіе того же движенія пространство rr между ножками расширяется и вслѣдствіе этого происходитъ разрѣженіе въ этомъ мѣстѣ. Это разрѣженіе также распространяется вокругъ камертона. Но такъ какъ сгущенія произведенныя въ c и c и разрѣженія въ r и r распространяются съ одинаковою скоростью, то, слѣдовательно, они должны встрѣчаться вдоль точечныхъ линій q, q, q, q, проведенныхъ отъ реберъ камерто-

на кнаружи. Черныя, составляющія $^1/_4$ круга, линіи вокругъ камертона въ фиг. 39, представляютъ середину сгущенныхъ слоевъ воздуха, между тѣмъ какъ какъ точечныя въ $^1/_4$ круга линіи означаютъ середину разрѣженныхъ слоевъ воздуха. Что же должно происходить вдоль тѣхъ точечныхъ линій, q, или лучше, поверхностей? Очевидно, здѣсь происходитъ борьба между сгущеніями и раз-



Фиг. 39.

рѣженіями. Первыя стремятся сблизить между собою молекулы воздуха, а послѣднія стремятся раздвинуть ихъ; но такъ какъ эти дѣйствія равны, и такъ какъ воздухъ въ одно и тоже время толкается въ противоположныя направленія, то онъ остается въ покоѣ, не вибрируетъ. Такимъ образомъ вдоль поверхностей q, q, q, q бываетъ молчаніе, беззвучіе. Когда ножки вибрируютъ по направленію одна къ другой, онп производятъ на воздухъ дѣйствія

въ порядкѣ обратномъ противъ описаннаго, т. е. отъ c и c исходятъ теперь разрѣженія, между тѣмъ какъ отъ r и r исходятъ сгущенія, но по линіямъ q, q, q, q получается тотъ же эффектъ, т. е. отсутствіе звука.

Опытъ 62. — Что это дѣйствительно такъ, это можно легко доказать слѣдующимъ простымъ опытомъ. Заставьте звучать камертонъ и держите его вертикально подлѣ уха. Затѣмъ медленно вращайте его. Во время одного полнаго оборота камертона на его рукояткѣ вы замѣтите четыре измѣненія звука. Четыре раза онъ будетъ громокъ, и четыре раза тихъ, даже почти совсѣмъ не слышенъ. Вертите камертонъ передъ ухомъ вашего товарища, онъ вамъ будетъ говорить, когда звукъ бываетъ самымъ громкимъ и когда онъ почти прекращается. Вы тогда найдете, что когда онъ бываетъ самымъ громкимъ, тогда противъ уха стоятъ бока c, c ножекъ или пространства между ними r, r; а когда онъ будетъ говорить вамъ о прекращеніи звука, то вы найдете, что къ его уху обращены ребра камертона, т. е. плоскости q, q, q, q.

Опытъ, въ которомъ интерференція звука доказывается посредствомъ вращенія вибрирующаго камертона надъ отверстіемъ бутылки, дѣлающей резонансъ на тонъ камертона.

Опытъ 63. — Достаньте бутылку вродѣ представленной на фиг. 40. Ея отверстіе должно имѣть 1 дюймъ (25 миллиметровъ) въ діаметрѣ. Вырѣжьте стеклянную пластинку въ 1½ дюйма длины и 1 дюймъ ширины и двигайте ее надъ отверстіемъ бутылки, держа надъ нимъ вибрирующій камертонъ A. Прикрѣпите воскомъ стеклянную пластинку въ томъ ея положеніи, при которомъ звукъ въ бутылкѣ отъ резонанса воздуха бываетъ всего громче (см. фиг. 40).

Затѣмъ заставьте камертонъ вибрировать, и держа его горизонтально, медленно вертите его надъ отчасти прикрытымъ отверстіемъ бутылки, совершенно такъ, какъ

вы вертите его передъ ухомъ. Вы увидите, что всегда, когда ребра камертона станутъ противъ отверстія бутылки, звукъ ослабѣваетъ и даже прекращается. Въ этомъ положеніи камертона одна изъ плоскостей q, q, q, q, на фиг. 39, приходится какъ разъ противъ отверстія бутылки и такимъ образомъ входятъ въ бутылку рядомъ и въ одно и тоже время сгущенія и разрѣженія. Поэтому воздухъ въ бутылкѣ подвергается двумъ равнымъ и противоположнымъ дѣйствіямъ; онъ не можетъ вибрировать для резонанса камертону, и потому звука нѣтъ. Этотъ опытъ, равно какъ и слѣдующій, можно произвести съ резонансовыми стаканами въ опытѣ 43 также хорошо, какъ и съ бутылками.

Опыты, въ которыхъ интерференція звука получается съ камертономъ и двумя бутылками.

Опытъ 64. — Фиг. 40 представляетъ двѣ стекляныхъ бутылки равной величины, подстроенныхъ въ резонансъ съ камертономъ, какъ описано въ опытѣ 63. Поставьте одну бутылку стоймя, а другую положите горизонтально на нѣсколько книгъ и укрѣпите ее двумя кусками воска; бутылки располагаются такъ, чтобы отверстія ихъ почти касались, какъ показано въ фиг. 40.

Заставьте камертонъ вибрировать и, держа его горизонтально, поднесите къ бутылкамъ, такъ чтобы пространство между ножками стояло противъ отверстія стоящей бутылки, какъ показано на фиг. 40. Когда вы опускаете камертонъ, то замѣчаете, что звукъ сначала усиливается, а затѣмъ вдругъ ослабѣваетъ или совершенно исчезаетъ. Вы можете тотчасъ же поднять камертонъ выше и услышите, что онъ еще звучитъ, такъ что вы убѣждаетесь, что его вибраціи еще не прекратились, и однако же въ извѣстномъ положеніи между двумя бутылками звукъ почти или совсѣмъ неслышенъ.

Въ этомъ опытѣ вы замѣчаете, что въ то время какъ

широкій бокъ одной изъ ножекъ стоитъ противъ отверстія одной бутылки, пространство между ножками оказывается противъ отверстія другой бутылки. Поэтому, въ то время, какъ одна бутылка получаетъ сгущеніе, другая получаетъ разрѣженіе. Такимъ образомъ изъ отверстій бутылокъ выходятъ противоположныя вибраціонныя дви-



Фиг. 46.

женія и они нейтрализуютъ дѣйствіе другъ друга на внѣшній воздухъ. Поэтому является отсутствіе звука въ то время, когда камертонъ находится въ такомъ положеніи, что сгущеніе или разрѣженіе выходящее изъ одной бутылки совершенно равно по силѣ разрѣженію или сгущенію выходящему изъ другой.

Вы убѣдитесь въ томъ, что воздухъ въ бутылкахъ, ре-

зонируя камертону, звучитъ даже тогда, когда внѣ ихъ нѣтъ звука, слѣдующими простыми опытами:

Опытъ 65.—Приставьте кусокъ картона къ отверстію одной изъ бутылокъ; тотчасъ же другая бутылка резонируетъ на камертонъ и издаетъ громкій звукъ. Значитъ равновѣсіе нарушено, и потому является звукъ.

Опытъ 66.—Кусокъ тончайшей прозрачной бумаги произведетъ другое дѣйствіе, потому что онъ тонокъ и только отчасти задерживаетъ вибраціи и въ результатѣ получается слабый звукъ; интерференція происходитъ только отчасти, а отчасти совершается и свободное дѣйствіе сгущеній и разрѣженій, полу-беззвучіе, полу-звукъ.

Опыты, показывающіе отраженіе звука отъ плоскаго газоваго пламени.

Опытъ 67.—При небольшомъ стараніи вы даже можете расположить передъ отверстіемъ горизонтальной бутылки плоское пламя газоваго рожка и такимъ образомъ сдѣлаете это пламя крышкой не позволяющей вибраціямъ входить въ бутылку.

Когда двѣ звуковыя вибраціи встрѣчаются и производятъ прекращеніе звука, то говорится, что они «интерферируются». Произведенные выше опыты относятся къ интерференціи звука.

Опыты, въ которыхъ при помощи бумажнаго конуса и каучуковой трубки мы можемъ узнать, какимъ образомъ вибрируетъ кружокъ.

При описаніи Опытовъ 27, 28, 29 и 30 мы сказали, что вибрирующій кружокъ всегда раздѣляется на четное число секторовъ. Этотъ фактъ былъ объясненъ тѣмъ положеніемъ, что смежные вибрирующіе секторы кружка движутся всегда въ противоположныхъ направленіяхъ. Истина этого положенія подтверждается слѣдующими опытами, которые могутъ быть объяснены только тѣмъ фактомъ, что смежные секторы въ одно и тоже

мгновеніе всегда находятся въ противоположныхъ фазахъ вибраціи. Эти опыты представляютъ также прекрасное наглядное подтвержденіе интерференціи звуковыхъ вибрацій.

Возьмите кусокъ картона и сверните его въ конусъ около 10 дюймовъ длины. Узкій конецъ конуса долженъ имѣть отверстіе такой величины, чтобы конусъ входилъ въ каучуковую трубку, употреблявшуюся въ Опытѣ 32. Если въ опытахъ употребляется латунный кружокъ 6 дюймовъ въ діаметрѣ, то отверстіе конуса должно быть $2\frac{1}{2}$ дюйма въ діаметрѣ.

Опытъ 68. — Заставьте пластинку вибрировать четырьмя секторами, какъ въ A, фиг. 23. Залѣпите одно ухо мягкимъ воскомъ, а въ другое вложите конецъ каучуковой трубки; затѣмъ помѣстите центръ отверстія конуса какъ разъ надъ центромъ пластинки и такъ, чтобы конусъ былъ совсѣмъ близко къ ея поверхности. Въ этомъ положеніи (которое мы обозначимъ № 1, чтобы впослѣдствіи можно было ссылаться на него) не слышно никакого или слышится очень слабый звукъ. Это потому что въ этомъ положеніи конуса онъ получаетъ отъ вибрирующаго кружка въ одно и то же время четыре равныя звуковыя пульсаціи; и такъ какъ двѣ изъ нихъ — сгущенія, а двѣ — разрѣженія, то онѣ взаимно нейтрализуютъ одна другую и барабанная перепонка уха остается въ покоѣ и потому не получается ощущенія звука.

Опытъ 69.—Затѣмъ двигайте отверстіе конуса по серединѣ вибрирующаго сектора къ краю кружка. По мѣрѣ того, какъ конусъ подвигается, звукъ становится громче, пока наконецъ не достигнетъ своего максимума, когда край конуса дойдетъ до края кружка. Въ этомъ положеніи (№ 2) конусъ получаетъ отъ кружка только правильныя звуковыя вибраціи, при чемъ въ данное время изъ диска выходитъ только одно сгущеніе или одно разрѣженіе.

Опытъ 70.—Медленно двигайте конусъ по окружности вибрирующаго кружка, держа край его отверстія близко къ краямъ кружка. Звукъ вдругъ начинаетъ ослабѣвать въ силѣ до тѣхъ поръ, пока кругъ отверстія конуса во время своего движенія не раздѣлится на два полукруга узловой линіей. Здѣсь не слышно никакого звука, потому что въ этомъ положеніи (№ 3) сгущеніе и разрѣженіе входятъ въ ухо вмѣстѣ, такъ какъ на противоположныхъ сторонахъ узловой линіи пластинка имѣетъ противоположныя направленія движенія.

Опыты съ толчками звуковъ.

Опытъ 71.—Покупая два камертона A, вы обращайте особенное вниманіе на то, чтобы оба они звучали совершенно въ унисонъ; иначе они не годятся для нашихъ опытовъ. Возьмите въ обѣ руки по камертону и заставьте ихъ звучать вмѣстѣ. Держите ихъ оба вмѣстѣ близъ уха и вы услышите, что когда они звучатъ оба, то кажется какъ будто звучитъ только одинъ тонъ. Два звука сливаются вмѣстѣ до такой степени совершенно, что ихъ нельзя отличить одинъ отъ другого. Совершенно увѣрившись въ этомъ, прилѣпите кусочекъ воска къ концу одной изъ ножекъ камертона и затѣмъ заставьте ихъ звучать, держа ихъ вертикально на резонансовомъ ящикѣ (см. Опытъ 41). Вдругъ вы слышите нѣчто необыкновенное: небольшіе взрывы звука, за которыми слѣдуетъ его внезапное ослабленіе и потеря его силы, какъ будто бы камертонъ звучитъ поперемѣнно то *forte* то *piano*. Эти странныя дрожащія измѣненія въ звукѣ двухъ камертоновъ, когда они звучатъ вмѣстѣ, называются толчками. Кажется, какъ будто звукъ дѣлаетъ удары или толчки, вродѣ движенія пульса, черезъ правильные промежутки. Снимите воскъ и толчки исчезнутъ, и оба камертона будутъ звучать какъ одинъ инструментъ.

Опытъ 72.—Прилѣпите большій или меньшій кусокъ воску и толчки измѣнятъ свой характеръ, слѣдуя быстрѣе или медленнѣе всякій разъ, какъ измѣняется количество воска.

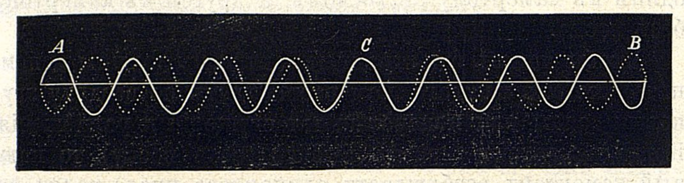
Эти опыты прекрасно удаются, если употребить въ дѣло стаканы, изъ Опыта 43, или резонансовыя бутылки изъ Опытовъ 63 и 64 вмѣсто резонансовыхъ ящиковъ. Стаканы или бутылки должны быть тщательно подстроены, одинъ къ камертону съ воскомъ, а другой къ камертону безъ воска.

Чтобы понять эти странные толчки, вы должны вспомнить, что отъ каждаго камертона идутъ по воздуху звуковыя волны или поперемѣнныя сгущенія и разрѣженія. Когда камертоны звучатъ вмѣстѣ (безъ воску), то каждый камертонъ возбуждаетъ одинаковое число волнъ въ секунду и они идутъ вмѣстѣ, причемъ сгущенія движутся разомъ и достигаютъ уха въ одно и тоже время.

Когда мы къ одному камертону прикрѣпляемъ воскъ, то этимъ заставляемъ его двигаться медленнѣе. Ходъ волнъ исходящихъ изъ каждаго можетъ начаться вмѣстѣ, но они не будутъ идти вмѣстѣ; такъ какъ камертонъ съ воскомъ движется медленнѣе, то волны его звука будутъ длиннѣе и будутъ забѣгать. Сгущенія и разрѣженія уже не идутъ рядомъ. Сгущеніе отъ одного камертона достигаетъ уха въ то самое время, когда до него доходитъ разрѣженіе отъ другаго. Такимъ образомъ они интерферируются и уничтожаютъ другъ друга, а интерференція прекращаетъ звукъ, какъ это мы открыли въ нашихъ послѣднихъ опытахъ. Сгущенія и разрѣженія отъ двухъ камертоновъ продолжаютъ доходить до уха, и вдругъ два сгущенія или два разрѣженія пойдутъ рядомъ и достигнутъ уха вмѣстѣ, и потому они взаимно поддерживаютъ или усиливаютъ другъ друга, и потому бываетъ внезапный взрывъ или толчокъ звука, какъ-будто камертоны стали звучать громче.

Волны звука продолжаютъ двигаться и одинъ рядъ волнъ отстаетъ отъ другого, и наконецъ сгущенія одного ряда достигаютъ уха одновременно съ разрѣженіями другого, а потому снова происходитъ интерференція и прекращеніе звука. Вслѣдствіе непрерывнаго ряда такихъ дѣйствій являются толчки звука.

Фиг. 41, представляетъ два такихъ ряда волнъ идущихъ рядомъ. Одинъ рядъ изображенъ полной линіей,



Фиг. 41.

а другой рядъ—точечной. Въ А сгущенія одного ряда противоположны разрѣженіямъ другого; но такъ какъ волны представленныя полной линіей длиннѣе чѣмъ волны представленныя точечной линіей, то первыя догоняютъ вторыхъ, такъ что въ С оба ряда будутъ дѣйствовать вмѣстѣ и мы имѣемъ толчокъ; между тѣмъ какъ въ болѣе отдаленной точкѣ В движенія въ волнахъ противоположны и здѣсь происходитъ интерференція или прекращеніе звука. Очевидно, что такъ-какъ длинныя волны забѣгаютъ впереди короткихъ, то волны встрѣчающіяся въ В попеременно то дѣйствуютъ вмѣстѣ, то интерферируются и такимъ образомъ ухо помѣщенное въ В будетъ слышать толчки звука.

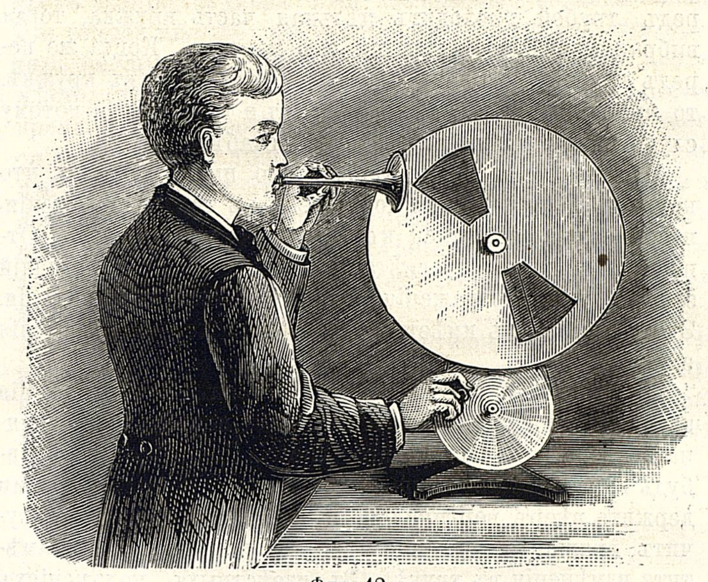
Изъ этого необходимо слѣдуетъ, что если одинъ камертонъ вибрируетъ 100 разъ въ секунду, а другой 101 разъ, то будетъ одинъ толчекъ въ каждую секунду. Число толчковъ бывающихъ въ секунду равно разности числа вибрацій въ секунду, дѣлаемыхъ вибрирующими тѣлами.

ГЛАВА IX.

Объ отраженіи звука.

Опытъ профессора Руда, показывающій отраженія звука.

Опытъ 73.—Фиг. 42 представляетъ картонный кружокъ въ 12 или 14 дюймовъ въ діаметрѣ, въ которомъ



Фиг. 42.

вырѣзаны два сектора на противоположныхъ сторонахъ отъ его центра. Онъ укрѣпляется на вращателѣ, чтобы его можно было быстро вращать. Попросите кого нибудь сѣсть сбоку вращателя, такъ чтобы онъ могъ вращать

рукоятку, а въ это самое время играйте на дѣтской игрушечной трубѣ, которая лучше всего годится для этого опыта. Держите трубу такъ, чтобы она была обращена къ поверхности кружка и ея отверстіе приходилось какъ разъ противъ одного изъ отверстій въ кружкѣ, какъ показано въ фиг. 42. Въ то время, какъ кружокъ безостановочно вращается и труба играетъ, отойдите въ отдаленный уголъ комнаты, и здѣсь вы услышите, что звукъ трубы быстро измѣняется, поперемѣнно становясь то громче, то тише, подобно толчкамъ.

Это дѣйствіе есть результатъ отраженія. Когда передъ трубой проходитъ цѣльная часть кружка, тогда вибраціи звука отражаются отъ картона. Когда же передъ трубой проходятъ вырѣзанныя отверстія въ кружкѣ, то вибраціи проходятъ черезъ нихъ и теряются, и потому слушающему кажется, что звукъ ослабѣваетъ.

Производя этотъ опытъ, нужно имѣть въ виду, что кружокъ долженъ быть поставленъ въ такомъ положеніи, чтобы звукъ отражался къ отдаленному слушателю. Относительно отраженія свѣта опытами доказанъ слѣдующій законъ: уголъ отраженія всегда равенъ углу паденія. Этотъ же законъ имѣетъ силу и относительно отраженія звука.

Опытъ 74. — Другой опытъ относительно отраженія звука можетъ быть произведенъ при помощи обыкновеннаго вѣера изъ пальмоваго листа. Попросите кого нибудь играть на трубѣ на одномъ концѣ комнаты, а сами держите вѣеръ вертикально подлѣ уха. Когда труба звучитъ, вращайте медленно вѣеръ за рукоятку, и вы замѣтите измѣненія въ звукѣ. Въ извѣстныхъ положеніяхъ вѣера труба будетъ звучать громче, а въ другихъ положеніяхъ звукъ ея будетъ слабѣе. Если вы сразу не получите этого результата, то попробуйте держа вѣеръ вертикально, ставить его въ разныя положенія и, послѣ нѣсколькихъ пробъ, вы замѣтите отраженіе звука отъ

поверхности вѣера. Стрекотанія кузнечика въ теплый лѣтній день, шумъ морскихъ волнъ или звуки отдаленнаго голоса также могутъ быть увеличены вѣеромъ и отражены въ ухо.

Такимъ образомъ эхо есть отраженіе. Вибраціи идутъ по воздуху и встрѣчаютъ зданіе, затѣмъ склонъ горы или холма и отражаются отъ нихъ можетъ быть даже нѣсколько разъ.

Опытъ 75.—Въ деревнѣ вы можете найти эхо вездѣ, если будете ходить около амбаровъ или домовъ и приэтомъ кричать или пѣть. Первая проба можетъ быть не дастъ эхо, но измѣняя свое положеніе, подходя ближе или отходя дальше, но всегда находясь какъ разъ противъ амбара или другого зданія, вы скоро можете найти мѣсто, гдѣ слышно эхо. Мы уже знаемъ, что въ холодное время, когда термометръ стоитъ на нулѣ, звукъ движется со скоростью 1090 футовъ въ секунду. Если вы стоите на разстояніи 545 футовъ отъ отражающей стѣны и произведете короткій рѣзкій звукъ, то онъ употребитъ полсекунды, чтобы дойти до стѣны, и полсекунды, чтобы возвратиться назадъ и пройдетъ значитъ одна секунда между звукомъ и его эхо.

Въ нашихъ опытахъ съ камертономъ и двумя бутылками (см. фиг. 40) мы помѣщали передъ отверстіемъ одной изъ бутылокъ картонъ или газовое пламя. Здѣсь также мы имѣли отраженіе звука отъ картона и даже отъ пламени.

ГЛАВА X.

О высотѣ звуковъ.

Опытъ 76.—Возьмите одинъ изъ камертоновъ A и камертонъ C и вставьте ихъ въ деревянный чурбакъ ря-

домъ, наклонивши другъ къ другу противоположныя ножки двухъ камертоновъ такъ, чтобы когда мы проведемъ палочкой между ними, они начали вибрировать одновременно. Прикрѣпите кусочекъ мѣдной фольги къ ножкамъ смежнымъ между собою, и пристройте закопченное стекло и линейку для его направленія, какъ указано въ Опытѣ 25. Заставьте вибрировать камертоны, проведя палочку между ними, и вы получите слѣды ихъ вибрацій на закопченномъ стеклѣ.

Возьмите закопченное стекло и тщательно отмѣрьте равное разстояніе на каждомъ слѣдѣ и затѣмъ сосчитайте вибраціи помѣщающіяся на этомъ пространствѣ. Если были взяты надлежащіе камертоны, то окажется, что $17^1/_2$ вибрацій одного камертона занимаютъ столько же пространства, какъ 21 вибрація другаго. Изъ этого вы ясно видите, что въ одно и то же время одинъ камертонъ вибрируетъ чаще, чѣмъ другой. Замѣтьте хорошенько, какой камертонъ дѣлаетъ большее число вибрацій. Поднесите одинъ вибрирующій камертонъ къ уху и затѣмъ другой и вы замѣтите, что камертонъ C даетъ высшій тонъ чѣмъ A. Камертонъ C дѣлаетъ большее число вибрацій (21) въ данной длинѣ оставленнаго имъ слѣда, а камертонъ A въ той же длинѣ меньшее число ихъ ($17^1/_2$). Этотъ опытъ убѣждаетъ насъ, что камертонъ дающій высшій тонъ вибрируетъ въ секунду чаще, чѣмъ камертонъ дающій низшій тонъ. Опыты надъ всякаго рода вибрирующими тѣлами — твердыми, жидкими и газообразными— доказали, что тонъ звучащаго тѣла повышается съ увеличеніемъ числа его вибрацій въ секунду. Этотъ фактъ можетъ быть формулированъ такимъ образомъ: высота тона зависитъ отъ частоты вибрацій. Изъ этого факта слѣдуетъ, что высота звука повышается съ увеличеніемъ числа звуковыхъ волнъ, достигающихъ до уха въ секунду.

Опыты съ сиреной.

Фиг. 43. представляетъ инструментъ, называемый сиреной. Я покажу вамъ, какъ съ нею можно сдѣлать нѣ-



фиг. 43.

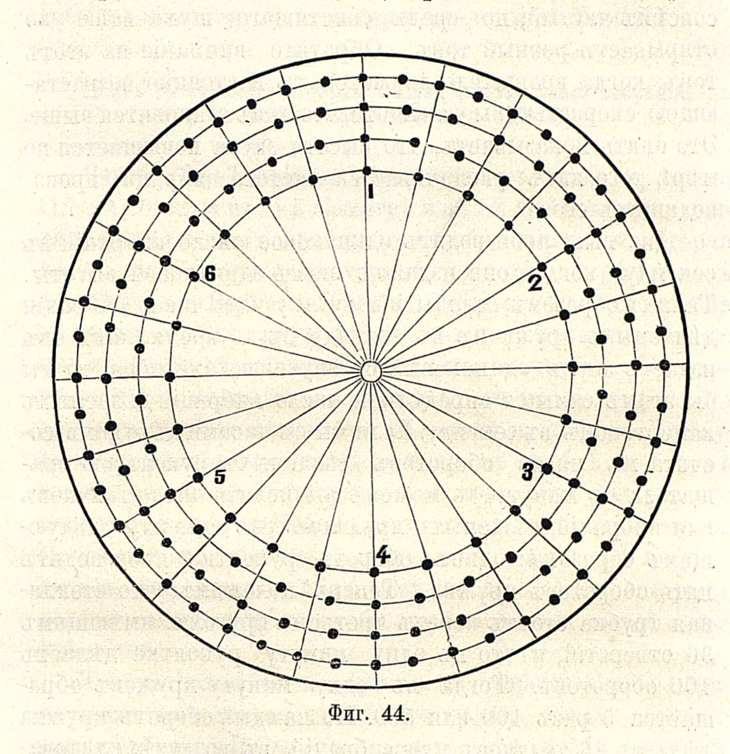
сколько поучительныхъ и любопытныхъ опытовъ. Во-первыхъ, вы можете опредѣлить число вибрацій производи-

мыхъ въ секунду звучащимъ тѣломъ, напр. однимъ изъ нашихъ камертоновъ; а опредѣливши это, вы можете употребить камертонъ для того, чтобы самимъ опредѣлить скорость звука. Сирена покажетъ вамъ также слѣдующій важный фактъ: числа вибрацій въ секунду дающія различные тоны гаммы или музыкальной скалы находятся между собою въ опредѣленныхъ числовыхъ отношеніяхъ.

Чтобы сдѣлать сирену, возьмите кусокъ картона и проведите на немъ циркулемъ кругъ въ $8^1/_2$ дюймовъ (21,6 центиметра) въ діаметрѣ; затѣмъ вырѣжьте этотъ кругъ изъ картона. Проведите теперь еще четыре круга и притомъ для проведенія внутренняго раздвиньте ножки циркуля на $2^1/_4$ дюйма (5,73 центиметра); слѣдующій за нимъ долженъ имѣть радіусъ $2^3/_4$ дюйма (6,99 центиметровъ), третій—$3^1/_4$ дюйма (8,26 центиметра), а четвертый $3^3/_4$ дюйма (9,53 центиметра). Раздѣлите окружность внѣшняго круга на 24 равныя части и къ каждому изъ этихъ дѣленій проведите линію изъ центра, какъ показано на фиг. 44. Раздѣлите пространства на внѣшнемъ кругѣ на половины; это дастъ 48 точекъ на этомъ кругѣ. Въ каждой изъ этихъ точекъ прорѣжьте рѣзцомъ отверстіе около 3,16 дюймовъ (5 миллиметровъ) въ діаметрѣ. Затѣмъ прорѣжьте отверстія на 24 точкахъ внутренняго круга.

Разсматривая фиг. 44, вы увидите, что на радіусахъ обозначенныхъ 1, 2, 3, 4, 5 и 6 отверстія всѣ находятся на одной линіи. Эти отверстія лежащія въ линію дѣлятъ кругъ на 6 равныхъ частей. Каждую такую шестую часть раздѣлите на второмъ кругѣ на 5 равныхъ частей, и каждую шестую часть на третьемъ кругѣ раздѣлите на 6 равныхъ частей и въ каждой изъ этихъ точекъ дѣленія сдѣлайте рѣзцомъ отверстіе. Слѣдуя этимъ указаніямъ, вы сдѣлаете на внутреннемъ кругѣ 24 отверстія, на второмъ 30, на третьемъ 36 и на четвертомъ 48 отверстій.

Теперь прорѣжьте отверстіе въ центрѣ кружка такъ, чтобы оно плотно приходилось къ винту на маленькой оси вращательной машинки, представленной на фиг.



Фиг. 44.

34. Затѣмъ вставьте въ каучуковую трубку стеклянную трубку, внутреннее отверстіе которой почти равнялось бы діаметру отверстій въ картонномъ кружкѣ. Теперь мы готовы для нашихъ опытовъ.

Опытъ 77.—Вращайте кружокъ медленно и, помѣстивши стеклянную трубку передъ кругомъ отверстій, дуйте въ трубку. Вы замѣтите, что всякій разъ какъ отверстіе проходитъ передъ трубкой, изъ отверстія раздается тол-

чокъ воздуха. Если кружокъ вращается быстрѣе, толчки становятся чаще и потомъ, когда скорость кружка увеличивается, они сливаются въ звукъ. Правда, это звукъ не совсѣмъ чистый; но среди свистящаго шума ваше ухо открываетъ ровный тонъ. Обратите вниманіе на этотъ тонъ; когда вращатель движется съ постоянно возрастающею скоростью, вы услышите, что тонъ становится выше. Это опять показываетъ, что высота звука повышается по мѣрѣ того, какъ увеличивается частота вибрацій производящихъ его.

Два тѣла производятъ одинаковое число вибрацій въ секунду, когда они издаютъ звукъ одинаковой высоты. Такимъ образомъ, еслибы мы могли узнать число вибрацій дѣлаемыхъ кружкомъ въ секунду въ то время, какъ онъ издаетъ звукъ одинаковый съ звукомъ камертона, то мы бы этимъ самымъ опредѣлили число вибрацій дѣлаемыхъ камертономъ въ секунду. Если мы съ часами въ рукахъ сосчитаемъ число оборотовъ дѣлаемыхъ рукояткою вращателя въ минуту, то можемъ вычислить число толчковъ или вибрацій дѣлаемыхъ кружкомъ въ секунду слѣдующимъ образомъ: одинъ оборотъ рукоятки производитъ пять оборотовъ кружка. Теперь положимъ, что стеклянная трубка стоитъ передъ третьимъ кругомъ, имѣющимъ 36 отверстій, и что въ одну минуту рукоятка дѣлаетъ 100 оборотовъ. Тогда въ одну минуту кружокъ обращается 5 разъ 100 или 500. Но каждый оборотъ кружка дѣлаетъ 36 толчковъ или вибрацій въ воздухѣ; слѣдовательно, въ одну минуту кружокъ дѣлаетъ 36 разъ 500 или 18000 толчковъ или вибрацій, а въ одну секунду $^1/_{60}$ 18000 или 300.

Но трудно узнать, когда именно кружокъ издастъ такой же звукъ, какъ и камертонъ, и еще труднѣе поддерживать движеніе кружка такъ, чтобы онъ издавалъ этотъ именно звукъ неизмѣнно, хотя бы въ теченіи нѣсколькихъ секундъ. Чтобы сдѣлать это, до сихъ поръ

всегда требовались весьма дорогіе аппараты. Но я не желалъ бы пропускать въ настоящей книгѣ такого важнаго опыта, и потому я нашолъ дешовый и простой способъ произвести его, и покажу вамъ этотъ способъ.

Опытъ съ сиреной, которымъ опредѣляется число вибрацій, дѣлаемыхъ камертономъ въ секунду.

Опытъ 78.—Возьмите стеклянную трубку въ $^3/_4$ дюйма (19 миллиметровъ) въ діаметрѣ и въ 12 дюймовъ (30,5 сантиметровъ) длины и пробку въ 1 дюймъ толщины, которая могла бы двигаться по трубкѣ, но плотно прилегая къ ея стѣнкамъ. Вставьте пробку въ одинъ конецъ трубки и, держа стоймя какую нибудь палочку, надавливайте на нее пробкой, отчего пробка входитъ въ трубку. Заставьте звучать камертонъ и держите его надъ открытымъ концомъ трубки, вдавливая палочкой пробку въ трубку, до тѣхъ поръ, пока столбъ воздуха въ трубкѣ не будетъ давать резонанса на звукъ камертона. Это вы узнаете потому, что изъ трубки будетъ выходить громкій звукъ. Пробуйте это нѣсколько разъ, пока вы вполнѣ не убѣдитесь, что нашли какъ разъ то мѣсто, на которомъ должна стоять пробка, чтобы трубка давала самый громкій звукъ.

Теперь положите камертонъ въ сторону и небольшими кусочками воска прикрѣпите трубку сверху деревяннаго чурбака или на стопу книгъ, такъ чтобы отверстіе ея было близко къ кружку и стояло противъ одного изъ круговъ, образуемыхъ отверстіями, какъ показано въ фиг. 43. Съ другой стороны кружка и какъ разъ противъ отверстія резонансовой трубки держите маленькую стеклянную трубку, черезъ которую вы вдуваете воздухъ. Вращайте рукоятку сначала медленно, затѣмъ постепенно скорѣе и скорѣе. Скоро изъ трубки начинаетъ выходить звукъ, который становится все громче и громче; затѣмъ

послѣ того, какъ кружокъ пріобрѣлъ извѣстную скорость, звукъ становится слабѣе и слабѣе и, наконецъ, изъ трубки не выходитъ никакого звука.

Когда звукъ изъ трубы былъ всего громче, тогда кружокъ пускалъ въ трубку такое именно число вибрацій въ секунду, какое дѣлаетъ и камертонъ; потому что трубка настроена одинаково съ камертономъ и можетъ громко резонировать только тогда, когда она получитъ отъ кружка сирены такое же число вибрацій въ секунду, какое дѣлаетъ камертонъ.

Поэтому совершенно ясно, что для того, чтобы найти число вибрацій, дѣлаемыхъ камертономъ въ секунду, мы сначала должны довести кружокъ до такой скорости, при которой звукъ изъ трубки бываетъ самый громкій, и затѣмъ пользоваться этимъ звукомъ, какъ руководствомъ при регулированіи вращенія рукоятки вращателя. Упражненіе скоро научитъ руку повиноваться указанію, даваемому ухомъ; и если учащійся имѣетъ терпѣніе, то будетъ вознагражденъ успѣхомъ, именно научится поддерживать звукъ трубы громкимъ и постояннымъ въ теченіи 20 или 30 секундъ. Тогда мы можемъ сосчитать по часамъ число оборотовъ рукоятки вращателя въ теченіи 20 или 30 секундъ. Если намъ удастся это, то мы сразу же можемъ вычислить число вибрацій, дѣлаемыхъ камертономъ въ секунду.

Это вычисленіе дѣлается слѣдующимъ образомъ:

Опытъ 79.—Пробка вталкивается до того мѣста, чтобы воздухъ въ трубкѣ всего громче резонировалъ на камертонъ A. Затѣмъ трубка помѣщается противъ круга въ 36 отверстій. Послѣ того, какъ намъ удалось заставить трубку резонировать громко и постоянно на вращающійся кружокъ, я считаю число оборотовъ, данныхъ мною рукояткѣ въ 20 секундъ, и нахожу, что это число 49. На одинъ оборотъ рукоятки приходится 5 оборотовъ кружка. Поэтому 5 разъ 49 или 245 есть число оборо-

товъ, дѣлаемыхъ кружкомъ въ теченіи 20 секундъ. Но во время одного оборота кружка въ трубку входитъ 36 толчковъ или вибрацій; слѣдовательно, 245 разъ 36 или 8820 есть число вибрацій, вошедшихъ въ трубку въ 20 секундъ; а $^1/_{20}$ 8820 или 441 есть число вибрацій, вошедшихъ въ трубку въ одну секунду.

Такимъ образомъ этотъ опытъ показываетъ, что трубка резонируетъ всего громче тогда, когда въ нее входитъ 441 вибрація въ секунду. Но трубка также резонируетъ всего громче, когда надъ нею помѣщается вибрирующій камертонъ А. Слѣдовательно камертонъ А дѣлаетъ 441 вибрацію въ секунду.

Опытъ 80.—Пусть теперь учащійся попробуетъ самъ опредѣлить подобными же опытами число вибрацій, дѣлаемыхъ въ секунду камертономъ С. Повторяйте эти опыты нѣсколько разъ, пока не получатся числа, которыя немногимъ разнятся одно отъ другого.

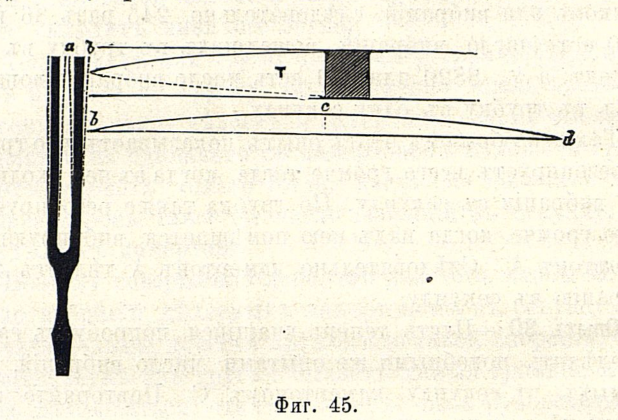
Опредѣленіе скорости звука посредствомъ опыта съ камертономъ и резонансовою трубой.

Опытъ 81.—Нашъ опытъ (78) съ стекляной трубкой научилъ насъ, что трубка должна содержать въ себѣ извѣстный слой воздуха, чтобы громко резонировать на камертонъ А. Измѣримъ этотъ слой. Мы найдемъ, что онъ равняется $7^2/_3$ дюйма (19,47 центиметровъ), когда воздухъ имѣетъ температуру 16° по Реомюру.

По этой мѣрѣ и по тому, что камертонъ А дѣлаетъ 441 вибрацій въ секунду, мы можемъ вычислить скорость звука въ воздухѣ.

Очевидно, что ножка камертона надъ отверстіемъ трубы и воздухъ въ отверстіи трубы должны качаться туда и сюда вмѣстѣ, иначе была бы борьба и интерференція между этими вибраціями, и тогда воздухъ не могъ бы вибрировать вмѣстѣ съ звукомъ, издаваемымъ камертономъ и усиливать его.

Мы уже узнали, что ножка камертона, идя отъ *a* къ b (фиг. 45) производитъ полволны въ воздухѣ, лежащемъ



Фиг. 45.

передъ нею. Это можетъ быть выражено кривою bcd, находящеюся надъ линіею bd. Трубка T должна имѣть длину равную разстоянію отъ b до c или одной четверти длины волны; такъ что въ то время, когда ножка камертона прошла отъ a до b и начинаетъ свое обратное движеніе отъ b къ a, полуволна bcd имѣла время, чтобы дойти до дна трубки T, отразиться назадъ и достигнуть ножки b въ то самое мгновеніе, когда она начинаетъ свое движеніе назадъ. И когда она дѣлаетъ это, тогда конецъ этой отраженной волны (обозначенной точечною линіею въ трубкѣ T) движется назадъ одновременно съ движеніемъ назадъ ножки b и такимъ образомъ воздухъ у отверстія трубки и ножка камертона качаются вмѣстѣ, и звукъ, издаваемый камертономъ, значительно усиливается.

Если длина четверти волны, производимой камертономъ A, есть $7\frac{2}{3}$ дюйма (19,47 центиметровъ), то вся волна будетъ составлять 30,64 дюйма или 2,55 фута (77,88 центиметра). Но мы уже узнали, что когда камертонъ A

вибрируетъ одну секунду, то онъ распространяетъ вокругъ себя 441 звуковую волну. Такъ какъ одна волна простирается на 2,55 фута (77,88 центиметра) отъ камертона, то 441 волна будетъ простираться на 441 разъ 2,55 фута (77,88 центиметра) или 1124 фута (342,6 метра). Это и есть разстояніе, которое прошли вибраціи отъ камертона A въ одну секунду. Другими словами, это и есть скорость звука въ воздухѣ при 16° Р., находимая при помощи камертона и резонансовой трубки.

Такимъ образомъ мы находимъ, что самые скромные аппараты, если ими пользоваться съ терпѣніемъ и осмотрительностью, могутъ разрѣшать задачи, которыя на первый взглядъ могутъ показаться превышающими наши силы. Картонная сирена, небольшой камертонъ и стеклянная трубка измѣрили число вибрацій камертона и скорость звука.

Опытъ 82.—Подобнымъ же образомъ пусть учащійся опредѣлитъ число вибрацій камертона C и затѣмъ съ камертономъ и съ резонансовой трубкой пусть измѣритъ скорость звука и сравнитъ этотъ результатъ съ результатомъ, найденнымъ при помощи камертона A.

Число вибрацій, производимыхъ въ секунду резонансовыми трубками и органными трубками обратно пропорціонально ихъ длинѣ.

Если число вибрацій камертона въ секунду будетъ вдвое больше, то производимыя имъ звуковыя волны будутъ наполовину короче; поэтому резонансовая трубка должна быть укорочена наполовину, чтобы она могла резонировать на камертонъ. Если вибраціи камертона наполовину менѣе часты, то онъ будетъ производить звуковыя волны вдвое длиннѣе; поэтому, чтобы трубка резонировала на этотъ камертонъ, она должна быть вдвое длиннѣе. Эти факты формулируются такимъ образомъ:

длина резонансовыхъ трубокъ обратно пропорціональна числу вибрацій, на которыя они резонируютъ.

Но органныя трубы—это тоже резонансовыя трубки, въ которыхъ столбы воздуха приводятся въ вибраціи не вибрирующимъ камертономъ, но токомъ воздуха, входящимъ въ дульце (мундштукъ, амбушюру); отсюда вытекаетъ слѣдующій законъ: длины резонансовыхъ трубъ обратно пропорціональны числамъ вибрацій, которыя они производятъ въ секунду.

ГЛАВА XI.

Объ образованіи гаммы.

Опыты съ сиреной показывающіе, какимъ образомъ получаются звуки гаммы.

Кружокъ нашей сирены имѣетъ четыре круга изъ отверстій. Самый внутренній, или первый кругъ содержитъ 24 отверстія, второй 30, третій 36 и четвертый или самый наружный 48 отверстій.

Опытъ 83.—Вращайте рукоятку вращателя ровно и безостановочно, съ умѣренною скоростью, и не переставая дуть въ трубку, быстро двигайте ее отъ внутренняго кольца отверстій къ слѣдующему за нимъ, затѣмъ далѣе къ слѣдующему и наконецъ къ наружному кольцу отверстій. Ни одинъ опытъ изъ сдѣланныхъ до сихъ поръ не производитъ столь пріятнаго изумленія, какъ этотъ. Вы уже узнали, что высота звука поднимается съ увеличеніемъ частоты вибрацій производящихъ его. По мѣрѣ того, какъ трубка подвигается отъ перваго круга къ четвертому, передъ нею проходитъ все больше отверстій во время одного оборота кружка; поэтому звукъ внезапно повышается, когда трубка достигаетъ слѣдующаго круга.

Но мало этого: послѣдовательные звуки очевидно имѣютъ опредѣленное музыкальное отношеніе между собою, и это отношеніе не измѣняется, будемъ ли мы вращать кружокъ быстрѣе или медленнѣе. Высота отдѣльныхъ тоновъ при этомъ измѣняется, но музыкальное отношеніе остается неизмѣннымъ, какъ бы мы быстро ни вращали кружокъ во время опыта.

Опытъ 84.—Нѣсколько пробъ убѣдятъ васъ, что когда вы поете тоны до, ми, соль, до, то производите звуки, которые имѣютъ между собою совершенно такіе же интервалы, какъ между тѣми звуками, которые получаются, когда вы дуете послѣдовательно черезъ 24, 30, 36 и 48 отверстій. Мы пришли теперь въ великой истинѣ, лежащей въ самомъ основаніи музыки. Вашъ опытъ говоритъ вамъ, что если четыре звука образуются вибраціями, числа которыхъ въ секунду относятся между собою какъ 24 : 30 : 36 : 48, то эти звуки будутъ тонами, между которыми существуетъ такое же музыкальное отношеніе, какое существуетъ между нотами до, ми, соль до. Другими словами, эти четыре звука будутъ четырьмя звуками того, что музыканты называютъ совершенный аккордъ-мажоръ.

Разсматривая числа 24, 30, 36 и 48, мы видимъ, что каждое изъ нихъ можетъ дѣлиться на 6. Сдѣлавши дѣленіе, мы получимъ четыре числа 4, 5, 6 и 8. Отношенія между 4 : 5 : 6 : 8 тѣ же, что и между прежними числами, но проще и легче запоминаются. Такой совершенный аккордъ-мажоръ получается всегда, если отношенія между вибраціями въ секунду четырехъ звуковъ бываетъ 4 : 5 : 6 : 8.

Опытъ 85.—Дуя сначала въ кругъ изъ 24 отверстій и затѣмъ въ кругъ изъ 48 отверстій, мы слышимъ два тона. Второй есть октава перваго, и вообще вездѣ оказывается вѣрнымъ, что октава всякаго звука получается при удвоеніи числа его вибрацій.

Такимъ образомъ при помощи сирены мы нашли отношенія между числами вибрацій въ секунду, составляющихъ четыре звука совершеннаго аккордъ-можора. Но этотъ простой инструментъ способенъ еще на большее. Онъ можетъ дать намъ пропорціональныя числа вибрацій, которыя образуютъ собою всѣ тоны гаммы.

При пропорціи 4 : 5 : 6 происходятъ всѣ тоны музыкальной гаммы. Эти числа составляютъ самое основаніе гармоніи. Они должны быть начертаны на фронтонѣ храма музыки.

Было найдено посредствомъ опыта, что числа вибрацій, дающія тоны гаммы или точнѣе звуки естественной музыкальной скалы относятся между собою такъ, какъ показываютъ слѣдующія пропорціи:

(1) 4 : 5 : 6 = C : E : G.
(2) 4 : 5 : 6 = G : B : d.
(3) 6 : 5 : 4 = c : A : F.

Строчныя буквы c и d означаютъ тоны октавою выше C и D.

Для того, чтобы составить гамму изъ этихъ пропорцій, мы должны опредѣлить число вибрацій въ секунду, которое даетъ звукъ C или до. Положимъ, что 264 вибраціи въ секунду даютъ C или до октавой ниже дишканта или



Тогда пропорція (1) будетъ.

C : E : G = 4:5:6 = 264:330:396.

Пропорція (2) будетъ.

G:B:d = 4:5:6 = 396:495:594.

Пропорція (3) будетъ

$$c:A:F=6:5:4=528:440:352.$$

Такимъ образомъ, исходя изъ C въ пропорціи (1), равнаго 264 вибраціямъ, мы находимъ, что G получится отъ 396 вибрацій. Затѣмъ исходя изъ G пропорціи (2), равнаго 396 вибраціямъ, мы находимъ, что B и октава выше D будутъ произведены 495 и 594 вибраціями. Такимъ образомъ D равно половинѣ 594 или 297. Если мы будемъ исходить изъ c въ пропорціи (3), дѣлающаго 528 вибрацій и составляющаго верхнюю октаву C, то получимъ числа вибрацій въ секунду, которыя дадутъ звуки A и F.

Мы напишемъ здѣсь въ надлежащемъ порядкѣ эти тоны гаммы и помѣстимъ подъ ними числа ихъ вибрацій. Тоны гаммы называются также прима (1), секунда (2), терція (3), кварта (4), квинта (5) и т. д., для того чтобы показать то, что называется интерваломъ между ними. Такъ G составляетъ съ C интервалъ квинту или 5. Точно также E есть интервалъ терція или 3 съ тономъ C.



Разсмотрѣвъ эти числа, мы увидимъ, что каждое изъ нихъ можетъ дѣлиться на 11. Произведя дѣленіе, мы получимъ слѣдующій рядъ чиселъ, который даетъ относительныя числа вибрацій для тоновъ гаммы во всякой октавѣ музыкальной скалы:

C : D : E : F : G : A : B : c
24 : 27 : 30 : 32 : 36 : 40 : 45 : 48.

Опытъ 86. — Въ вѣрности указаннаго способа образованія гаммы вы можете убѣдиться сами, если вырѣжете для сирены другой кружокъ имѣющій вмѣсто четырехъ восемь круговъ изъ отверстій, причемъ каждый кругъ имѣетъ по порядку такія же числа отверстій, т. е. 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48. Когда вы будете вращать кружокъ, стараясь дать рукояткѣ равномѣрное движеніе 22 оборотовъ въ 10 секундъ, и будете дуть послѣдовательно въ разные круги, то услышите одинъ за другимъ восемь тоновъ гаммы составляющей октаву съ C имѣющимъ 264 вибраціи.

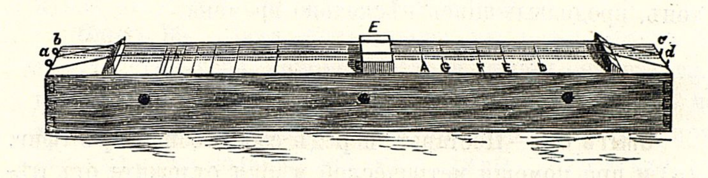
Опытъ 87. — Даже кружокъ съ четырьмя кругами отверстій можетъ дать всѣ тоны гаммы, но только по четыре тона въ каждомъ опытѣ.

Сдѣлавши вычисленіе, вы найдете, что если вы будете вращать рукоятку вращателя 22 раза въ 10 секундъ, то получите C въ пропорціи (1); 33 оборота въ 10 секундъ дадутъ G въ пропорціи (2); между тѣмъ какъ $29\frac{1}{3}$ оборотовъ въ 10 секундъ дадутъ F въ пропорціи (3). Поэтому когда вы будете дуть въ четыре круга отверстій, въ то время какъ кружокъ будетъ имѣть послѣдовательно эти три различныя скорости, то получите одно за другимъ числа вибрацій дающія звуки гаммы показанныя въ пропорціяхъ (1), (2), и (3).

ГЛАВА XII.

Опыты съ сонометромъ дающимъ тоны гаммы и гармоническіе тоны.

Фиг. 46 представляетъ деревянный ящикъ въ 59 дюймовъ (150 центиметровъ) длины, $4^3/_4$ дюйма (12 центиметровъ) ширины и $4^3/_4$ дюйма (12 центиметровъ) глубины. Боковыя стѣнки его сдѣланы изъ дубовой доски въ $^1/_2$ дюйма (12 центиметровъ) толщины, а двѣ конеч-



Фиг. 46.

ныя стѣнки изъ дубовой же доски въ 1 дюймъ (25 миллиметровъ) толщины. Онѣ должны быть аккуратно связаны въ лапу. Въ боковыхъ стѣнкахъ прорѣзаны три отверстія, какъ показано на фигурѣ. Въ ящикѣ нѣтъ дна а крышка должна быть цѣльная изъ чистой сосновой доски въ $^1/_8$ дюйма (3 миллиметра), толщины и она приклеена къ ящику. Двѣ треугольныя деревяшки въ $^7/_8$ дюйма (2 центиметра) вышины, наклеенныя на крышкѣ ящика на разстояніи $47^1/_4$ дюйма (120 центиметровъ) одна отъ другой, составляютъ кобылки, на которыхъ натягиваются струны. Есть еще, какъ показано въ E, свободно лежащій сосновый брусокъ въ $2^1/_2$ дюйма (6,35 центиметра) ширины, $^7/_8$ дюйма (2 центиметра) толщины и около $4^3/_4$ дюйма (12 центиметровъ) длины. Въ

a и b плотно ввинчены вертикально два винта съ ушками въ дубовую доску въ одномъ концѣ ящика. Въ c и d находятся два фортепіанныхъ колка. Отъ нихъ къ винтамъ съ ушками натянуты двѣ проволоки, которыя употребляются для фортепіанныхъ струнъ. Концы этихъ проволокъ, передъ тѣмъ какъ ихъ обвиваютъ вокругъ винтовъ или колковъ, нужно откалить, накаливши ихъ до красна. Такой инструментъ называется сонометромъ и будетъ полезнымъ и занимательнымъ инструментомъ при нашихъ опытахъ. Когда инструментъ готовъ, то проволоки можно туго натянуть при помощи фортепіаннаго ключа. Когда все устроено, то струны, если ихъ оттянуть въ сторону и затѣмъ пустить, должны издавать чистый тонъ, продолжающійся нѣсколько времени.

Опыты съ сонометромъ дающимъ звуки гаммы.

Опытъ 88.—Поставьте передъ собою сонометръ (фиг. 46) и при помощи метрической мѣрки отложите отъ лѣвой кобылки къ правой разстоянія въ 30 и 60 центиметровъ. Натяните струну, такъ чтобы она, когда ее ударятъ, издавала чистый музыкальный звукъ, только не очень высокій. Положите брусокъ E (фиг. 46) подъ струну, такъ чтобы край его находился на линіи обозначающей 60 центиметровъ и прижмите струну пальцемъ къ этому краю бруска. Ударьте струну какъ разъ на половинѣ ея длины въ 60 центиметровъ и внимательно наблюдайте высоту звука. Затѣмъ снимите брусокъ и ударьте струну посрединѣ, такъ чтобы она вибрировала вся. Вы замѣтите, что звукъ издаваемый теперь похожъ на тотъ, когда вибрировала половина струны, но отличается только тѣмъ, что онъ октавой ниже его. Если брусокъ положить на 30 центиметрахъ, то вибрируетъ четверть длины струны, и вы найдете, что издаваемый звукъ составляетъ первую октаву выше противъ тона половины

струны и вторую октаву выше тона издаваемаго всей струной.

Наша сирена доказала, что при удвоеніи числа вибрацій звукъ повышается на октаву. Такимъ образомъ когда струна укорачивается на половину, то она вибрируетъ вдвое скорѣе, когда укорачивается на четверь, то вибрируетъ вчетверо скорѣе противъ того, какъ вибрировала вся длина струны. Это и есть правило или законъ управляющій вибраціями струны. Если сила натягивающая проволоку остается неизмѣнною, то быстрота или частота вибрацій прямо пропорціональна укорачиванію длины проволоки. Такъ если проволока будетъ укорачиваться на $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_3$ или $^1/_9$, то число ея вибрацій въ секунду увеличится въ 2, 4, 3 или 9 разъ.

Опытъ 89.—Зная этотъ законъ, мы легко можемъ натянуть струну на сонометрѣ такъ, чтобы она издавала положимъ C въ 264 вибраціи въ секунду и затѣмъ можемъ опредѣлить различныя длины проволоки, вибрируя которыми она издаетъ всѣ тоны гаммы. Мы видѣли, что относительныя числа вибрацій, дающихъ тоны гаммы, слѣдующія:

Тоны	C	D	E	F	G	A	B	c
Относительныя числа вибрацій	24	27	30	32	36	40	45	48
Длина струны (въ центиметрахъ)	120	$106^2/_3$	96	90	80	72	64	60

Мы видѣли, что если вся длина струны въ 120 центиметровъ даетъ C, то 60 центиметровъ должны дать c октавою выше; но такъ какъ относительныя числа вибрацій G и C относятся между собою какъ 36 къ 24, то изъ этого слѣдуетъ, что длина C-струны должна быть больше длины G-струны въ отношеніи 36 къ 24. Поэтому пропорція 36 : 24 = 120 : 80 даетъ намъ 80 центиметровъ какъ длину G-струны. Подобнымъ же образомъ могутъ быть вычислены длины струны, которыя

даютъ другія тоны гаммы. Въ третьей линіи вышеприведенной таблички мы привели эти длины въ центиметрахъ. Отложите эти длины на сонометрѣ, всегда измѣряя отъ лѣвой кобылки къ правой, и черезъ точки этихъ дѣленій проведите на крышкѣ сонометра линіи и обозначьте ихъ по порядку буквами D, E, F, G, A, B, c. Если вы затѣмъ будете помѣщать брусокъ E (фиг. 46) послѣдовательно на каждое изъ этихъ дѣленій и заставлять вибрировать образующіяся такимъ образомъ части проволоки, то получите по порядку тоны гаммы.

Опыты съ сонометромъ дающіе гармоническіе звуки.

Есть другой рядъ звуковъ, называемыхъ гармоническими звуками, въ которыхъ относительныя числа вибрацій ихъ производящихъ таковы: 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 7 : 8 : 9 : 10 и проч. Законъ управляющій вибраціями проволокъ и струнъ учитъ насъ, что этотъ рядъ звуковъ можетъ быть полученъ на сонометрѣ, если мы будемъ заставлять вибрировать струну, послѣдовательно укорачивая ее до $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, $^1/_5$, $^1/_6$, $^1/_7$, $^1/_8$, $^1/_9$, $^1/_{10}$ и проч. всей ея длины.

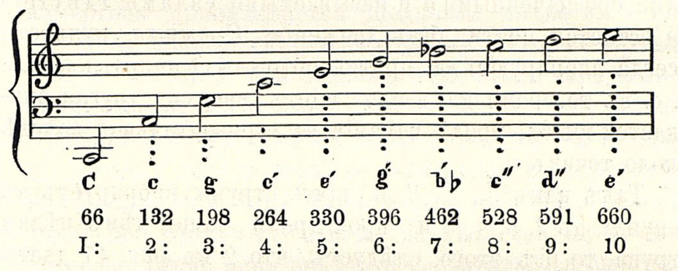
Опытъ 90.—Опять поставьте предъ собою сонометръ и, взявши метрическую мѣрку, раздѣлите длину крышки между кобылками на $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, $^1/_5$, $^1/_6$, $^1/_7$, $^1/_8$, $^1/_9$, $^1/_{10}$ 120-ти центиметровъ. Это дѣлается такъ, что отмѣряется отъ лѣвой кобылки (фиг. 46) къ правой сначала 60, потомъ 40, 30, 24, 20, $17_{,14}$, 15, $13_{,33}$ и 12 центиметровъ. Проведите на крышкѣ сонометра линіи черезъ эти точки дѣленія и обозначьте ихъ по порядку $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ .... $^1/_{10}$.

Затѣмъ помѣщайте брусокъ E на каждую изъ этихъ линій дѣленія и вибрируйте послѣдовательныя части струны; этимъ вы получите по порядку звуки гармонической серіи.

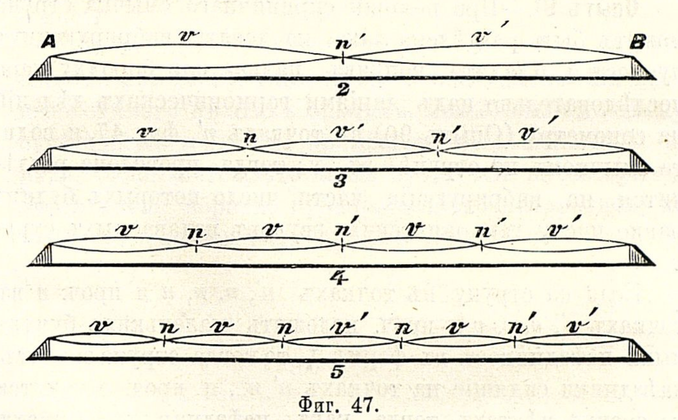
Если вся струна, вибрируя издаетъ тонъ



состоящій изъ 66 вибрацій въ секунду, тогда гармоническая серія этого C будетъ слѣдующая (числа вибрацій поставлены подъ буквами тоновъ, а знаки подлѣ буквъ обозначаютъ октавы).



Самый низшій тонъ гармонической серіи называется основнымъ, первой гармоникой или примой. Другіе



Фиг. 47.

тоны называются 2-й, 3-й, 4-й, и т. д. гармоникой, или 1-мъ, 2-мъ, 3-мъ и проч. гармоническими верхними тонами.

Гармоники струны можно получить и другимъ способомъ, сдѣлавши слѣдующій рядъ красивыхъ опытовъ:

На фиг. 47 цифры 2, 3, 4 и 5 представляютъ проволоку AB, которую заставили раздѣлиться на 2, 3, 4 и 5 отдѣльныхъ вибрирующихъ частей обозначенныхъ буквою v. Эти вибрирующія части или пучности, какъ они иногда называются, отдѣляются одна отъ другой точками, обозначенными *n* и называемыми узлами, гдѣ струна остается почти безъ движенія. Смежныя пучности всегда вибрируютъ въ противоположныхъ направленіяхъ, т. е. въ то время, какъ одна идетъ вверхъ, другая опускается внизъ, вродѣ качанія на горизонтальной качелѣ около точекъ *n*.

Такъ какъ $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_5$ и проч. струны вибрируетъ въ секунду въ 2, 3, 4, 5 и проч. разъ чаще, чѣмъ цѣлая струна, то изъ этого слѣдуетъ, что 2 въ фиг. 47 даетъ вторую гармонику, 3—третью, 4—четвертую и 5—пятую гармонику.

Опытъ 91.—При помощи скрипичнаго смычка струна можетъ быть раздѣлена даже на десять вибрирующихъ пучностей. Кладите кончикъ пальца или бородку пера послѣдовательно надъ линіями гармоническихъ дѣленій на сонометрѣ (Опытъ 90) въ точкахъ *n'*, фиг. 47, и водите смычкомъ по струнѣ въ v'; тогда проволока раздѣлится на вибрирующія части, число которыхъ будетъ равно числу гармоническихъ звуковъ издаваемыхъ струною.

Если на струну въ точкахъ *n'*, *n*, *n*, *n* и проч. и въ точкахъ *v'*, *v*, *v*, *v* и проч. положить маленькихъ бумажныхъ наѣздниковъ въ формѣ ʎ, то когда струна звучитъ, наѣздники сидящіе на точкахъ *n' n*... и проч. останутся на своихъ мѣстахъ, тогда какъ наѣздники на точкахъ v, v и проч. будутъ сброшены прочь.

Мы скоро увидимъ, какой большой интересъ представляютъ эти гармоническіе звуки, потому что ими объ-

ясняются многіе вопросы относительно звука, до недавняго времени остававшіеся неразрѣшимыми.

Методъ профессора Дольбира для произведенія опытовъ Мельде надъ вибрирующими струнами.

Опытъ 92.—Къ одной ножкѣ небольшого карманнаго камертона привязывается шолковая нитка въ 6 или 8 дюймовъ длины, къ другому концу которой привязывается крючокъ изъ булавки и на этотъ крючокъ вѣшается небольшая тяжесть, напр. запонка отъ рубашки. При помощи чечевицы на экранѣ получается изображеніе нитки. Сначала держите камертонъ въ горизонтальномъ положеніи, такъ чтобы ножки вибрировали въ вертикальной плоскости. Нитка раздѣляется на пучности, которыя можно ясно видѣть и сосчитать. Затѣмъ поверните камертонъ такъ, чтобы онъ вибрировалъ въ горизонтальной плоскости. Число пучностей будетъ вдвое больше *).

Мы нашли, что лучше употреблять вмѣсто запонокъ шарики изъ воску, такъ чтобы точнаго натяженія нитки, необходимаго въ этихъ опытахъ, можно было достигнуть измѣненіемъ величины привѣшиваемаго восковаго шарика. Оказывается, что число пучностей, на которыя дѣлится нитка, обратно пропорціонально квадратному корню натягивающей силы приложенной къ ней.

---

*) Съ большимъ камертономъ этотъ опытъ удается еще лучше и бываетъ яснѣе; такъ что пучности будутъ отлично видны и безъ оптическихъ приспособленій, безъ отбрасыванія на экранъ изображенія нитки. Примѣч. перев.

ГЛАВА XIII.

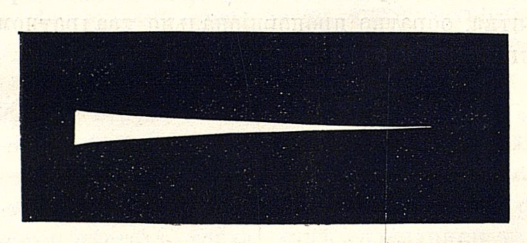
О силѣ (напряженности) звуковъ.

Опытъ, показывающій, что по мѣрѣ того какъ размахи вибрирующаго тѣла становятся меньше, звукъ дѣлается слабѣе.

Ваши опыты показали вамъ, что высота звука увеличивается съ увеличеніемъ частоты вибрацій. Вы конечно замѣчали, что звуки могутъ быть громкими и тихими, независимо отъ ихъ высоты. Такимъ образомъ, когда мы только что ударили камертонъ, его звукъ бываетъ всего громче, затѣмъ постепенно становится слабѣе и слабѣе и наконецъ медленно умолкаетъ.

Опытъ 93.—Сдѣлаемте опытъ, который покажетъ намъ причину этого постепеннаго измѣненія въ силѣ или напряженности его звука.

Заставьте вибрировать камертонъ, какъ показано въ опытѣ 25, и весьма медленно подвигайте закопченное стекло подъ острымъ концомъ куска фольги, прикрѣпленнаго къ ододной изъ ножекъ. Въ то время, какъ стекло медленно подвигается подъ вибрирующимъ камертономъ, вы замѣчаете, что звукъ становится слабѣе и слабѣе и на конецъ замираетъ совсѣмъ.



Фиг. 48.

Возьмите стекло и разсмотрите слѣдъ, оставленный вибрирующимъ камертономъ. Вы видите, что копоть сца-

рапана съ стекла въ видѣ треугольнаго пространства, какъ показано на фиг. 48. Изъ этого мы видимъ, что въ то время, какъ звукъ ослабѣваетъ въ силѣ, величина размаховъ камертона становится меньше и меньше.

ГЛАВА XIV.

О со-вибраціяхъ или созвучаніяхъ.

Опыты съ двумя камертонами.

Опытъ 94. — Возьмите два камертона, которые мы употребляли въ опытахъ надъ интерференціей и, держа одинъ прямо передъ собою, заставьте другой вибрировать; и затѣмъ поднесите ихъ близко одинъ къ другому, такъ чтобы широкіе бока ихъ ножекъ стояли другъ противъ друга. Итакъ, одинъ камертонъ здѣсь беззвученъ и неподвиженъ, между тѣмъ какъ другой вибрируетъ. Держите ихъ такимъ образомъ нѣсколько секундъ и затѣмъ поднесите молчавшій камертонъ къ уху; при этомъ вы замѣчаете нѣчто удивительное. Онъ не молчитъ, а слабо звучитъ. Вы его даже не касались, а онъ однако вибрируетъ. Почему же камертонъ начинаетъ вибрировать только оттого, что вблизи его находится звучащій камертонъ?

Опытъ 95. — Возьмите два деревянныхъ ящика или резонатора, которые мы сдѣлали для этихъ камертоновъ A и поставьте ихъ на столъ на разстояніи нѣсколькихъ дюймовъ одинъ отъ другаго такъ, чтобы они были обращены другъ къ другу открытыми концами. Поставьте одинъ изъ камертоновъ на ящикъ и затѣмъ, заставивши вибрировать другой камертонъ, поставьте его на другой

ящикъ. Онъ звучитъ теперь ясно и громко. Остановите вибрирующій камертонъ, коснувшись его пальцемъ, и вы услышите, что другой камертонъ будетъ звучать одинъ. Вѣдь это очень любопытно. Чтобы одинъ камермонъ могъ, не касаясь, заставить звучать другой камертонъ, находящійся вблизи его,—въ этомъ есть что-то почти невѣроятное, и однако же нашъ опытъ показываетъ, что это такъ.

Опыты надъ со-вибраціей двухъ струнъ сонометра.

Опытъ 96. — Натяните на сонометръ двѣ проволочныхъ струны (фиг. 46), такъ чтобы они были настроены въ одинъ тонъ одна съ другой. Если вы сами не можете этого сдѣлать, то попросите кого нибудь знакомаго съ музыкой помочь вамъ и пусть онъ настроитъ обѣ струны въ унисонъ. Когда это сдѣлано, ударьте одну струну посрединѣ и затѣмъ наблюдайте надъ другою струною. Вы можете повторить этотъ опытъ нѣсколько разъ и каждый разъ вы замѣтите одно и то же. Струна, звучащая подлѣ другой струны, заставляетъ звучать и эту послѣднюю.

Опытъ 97. — Ослабьте вторую струну хоть немного, такъ чтобы она была настроена не въ одинъ тонъ съ первою, и опытъ совсѣмъ не удастся. Возьмите другой камертонъ неодинаковаго тона съ камертономъ, звучащимъ, и Опытъ 95 тоже не удастся. Здѣсь мы пришли къ такому факту по нашему вопросу, который можетъ оказать намъ помощь. Когда два камертона одинаковы, когда двѣ струны сонометра настроены въ одинъ тонъ, то звучащіе камертонъ или струна заставляютъ звучать и своего сосѣда.

Этотъ замѣчательный фактъ, что вибрирующее тѣло можетъ заставить звучать другое упругое тѣло одного тона съ нимъ, называется со-вибраціей, т. е. вибрированіемъ вмѣстѣ (съ другимъ тѣломъ) или созвучаніемъ.

Камертонъ (струна и всякое другое тѣло), вибрируя, сообщаетъ частицамъ окружающаго воздуха такое же число толчковъ взадъ и впередъ въ одну секунду, какое дѣлаетъ и безмолствующій камертонъ, когда онъ вибрируетъ.

Предположимъ, что молчащій камертонъ получаетъ слабый толчекъ впередъ отъ вибрирующаго воздуха, который касается его. Ножка толкается впередъ, но на весьма малое разстояніе; затѣмъ она откачнется назадъ вслѣдствіе своей собственной упругости, но также откачнется назадъ и отъ дѣйствія воздуха, который тоже отталкиваетъ ее назадъ. Затѣмъ, дойдя до конца этого обратнаго качанія, она получаетъ второй толчокъ отъ воздуха и этотъ толчокъ помогаетъ ея собственному качанію впередъ, и потому это качаніе бываетъ нѣсколько сильнѣе, чѣмъ оно было бы въ томъ случаѣ, если бы она не получала этого толчка. Эти толчки воздуха взадъ и впередъ совершаются одновременно съ крошечными качаніями камертона взадъ и впередъ и, такъ какъ нѣсколько сотъ подобныхъ толчковъ дѣйствуютъ на камертонъ въ одну секунду, то они могутъ раскачать его настолько, что онъ самъ будетъ дѣйствовать на воздухъ съ силою, достаточною для того, чтобы привести его въ звуковыя колебанія, слышныя намъ какъ звуки и въ то время, когда другой камертонъ остановился.

Для болѣе точнаго уразумѣнія того, какъ эти слабые толчки воздуха могутъ привести въ вибрацію такое твердое и и тяжелое тѣло, какъ стальной камертонъ, можетъ служить слѣдующее:

Опытъ раскачиванія тяжелой корзины посредствомъ слабыхъ потягиваній тонкой кембриковой нити.

Опытъ 98. — Возьмите какую нибудь корзинку и наложите въ нее чего нибудь тяжелаго; потомъ повѣсьте ее

гдѣ нибудь на крѣпкой бичевкѣ. Привяжите къ ней гдѣ нибудь самую тонкую кембриковую нитку. Когда корзинка будетъ висѣть неподвижно, то тяните слегка нитку, но осторожно и не быстро, иначе она можетъ разорваться. Затѣмъ посмотрѣвши внимательно, вы увидите, что корзинка качнулась къ вамъ, хотя на весьма малое разстояніе. Потомъ снова потяните нитку какъ разъ въ то время, когда корзинка качнется по направленію къ вамъ, и повторите эти потягиванія нѣсколько разъ, всегда стараясь попасть въ тактъ и согласно съ движеніемъ корзинки. Вы увидите, что корзинка раскачивается на дюймъ или на два, и продолжая потягивать за нитку, вы можете раскачать ее на футъ или болѣе. Но если ваши потягиванія будутъ неодновременны или не въ тактъ съ качаніями корзины, то вы не въ состояніи будете раскачать ее.

Опытъ 99.—Теперь, когда корзинка качается на протяженіи фута, задержите нитку на одномъ мѣстѣ, такъ чтобы она не могла слѣдовать за корзиной. Она разрывается и корзинка продолжаетъ попрежнему свои качанія, какъ-будто бы она не получила отъ нитки никакой задержки своей скорости. Это происходитъ оттого, что самое сильное оттягиваніе назадъ нитки съ цѣлью остановить корзинку есть только весьма малая часть той силы, которую вы прежде сообщили корзинкѣ вашими слабыми оттягиваніями ея за нитку.

Подобно тому, какъ слабыя оттягиванія тонкой нитки могутъ заставить корзинку качаться съ большою силою, и самыя слабыя толчки тонкаго воздуха могутъ привести камертонъ въ вибраціи достаточно сильныя для того, чтобы заставить вибрировать весь воздухъ, находящійся въ извѣстномъ пространствѣ.

Эти со-вибраціи являются всегда, когда два тѣла, настроенныя въ одинъ тонъ, находятся близко одно отъ другого. Со-вибраціи объясняютъ намъ, почему камер-

тонъ звучитъ гораздо громче, когда его ставятъ на резонансовые ящики. Объемъ воздуха внутри ящика настроенъ въ одинъ тонъ съ камертономъ и потому онъ принимаетъ участіе въ вибраціяхъ, проходящихъ черезъ ящикъ, и такъ какъ воздухъ вибрируетъ вмѣстѣ съ камертономъ, то соединенныя вибраціи и производятъ гораздо болѣе громкій звукъ. Воздухъ въ стаканѣ и бутылкахъ въ Опытахъ 43 и 63 и воздухъ заключенный въ стекляныхъ трубкахъ, какъ въ опытахъ 78 и 81, также приходятъ въ движеніе отъ со-вибраціи. Вслѣдствіе такой же со-вибраціи резонансовыхъ трубокъ слабые тоны губъ или язычковъ въ органныхъ трубахъ становятся полными и сильными.

ГЛАВА XV.

Измѣненія высоты звука вибрирующихъ тѣлъ, производимыя ихъ движеніемъ.

Опытъ, въ которомъ высота звука свистка измѣняется вслѣдствіе его круговаго движенія.

Опытъ 100.—Возьмите кусокъ каучуковой трубки, употреблявшійся въ Опытѣ 32, и надѣньте ее на отверстіе свистка употреблявшагося въ опытѣ 33. Пусть кто нибудь отойдетъ въ отдаленный уголъ комнаты или даже уйдетъ изъ комнаты и станетъ на значительномъ разстояніи. Затѣмъ, держа трубку со свисткомъ, дайте ей круговое движеніе по вертикальному кругу и въ то же время дуйте въ трубку, такъ чтобы свистокъ звучалъ. Наблюдатель въ отдаленіи замѣтитъ, что свистокъ попеременно то приближается къ нему, то удаляется отъ не-

го и онъ услышитъ, что вмѣстѣ съ этими движеніями высота звука свистка то повышаётся, то понижается.

Въ этомъ опытѣ звучащее тѣло движется и его движенія производятъ измѣненіе въ числѣ вибрацій, которыя получаетъ ухо въ данное время. Когда свистокъ движется къ наблюдателю, то звуковыя волны скопляются и доходятъ до уха въ большемъ числѣ, чѣмъ когда свистокъ находится въ покоѣ, и потому кажется, что звукъ имѣетъ высшій тонъ. Напротивъ, когда свистокъ движется отъ наблюдателя, его движеніе назадъ растягиваетъ или разрѣжаетъ звуковыя волны и до уха доходитъ меньше вибрацій, чѣмъ въ то время, когда свистокъ находится въ покоѣ. Такимъ образомъ мы видимъ, какъ движеніе вибрирующаго тѣла измѣняетъ высоту его звука.

Опытъ 101. — Вы можете наблюдать тоже же самое на желѣзныхъ дорогахъ, гдѣ звукъ свистка движущагося локомотива измѣняется въ высотѣ, смотря по тому, приближается ли поѣздъ къ намъ или же быстро удаляется отъ насъ.

ГЛАВА XVI.

О качествѣ звуковъ.

Когда вы слышите звукъ скрипки, флейты, кларнета, трубы, фортепіано или органа, то ясно можете отличить и узнать звуки каждаго инструмента, хотя бы вы самихъ инструментовъ и не видѣли. Кто нибудь поетъ или говоритъ и тутъ же подлѣ него поетъ или говоритъ кто нибудь другой; вы сразу же можете узнать голосъ того и другого поющаго или говорящаго. Если вы зна-

комы съ ихъ голосами, то можете назвать ихъ. Это заставляетъ насъ думать, что кромѣ высоты и силы есть еще другія характеристическія качества звука.

Флейта, скрипка, кларнетъ, пѣвецъ могутъ издавать одинъ и тотъ же тонъ и съ одинаковою силою, однако тонъ каждаго имѣетъ свой особенный характеръ, нѣчто своеобразное, что отличаетъ его отъ такого же самаго тона, издаваемаго другими инструментами или пѣвцами. Это называется качествомъ звука, а иногда тембромъ или характеромъ. Сдѣлайте нѣсколько опытовъ

Надъ качествомъ звуковъ.

Эти опыты имѣютъ особенную увлекательность. Они имѣютъ цѣлью открыть то, что сообщаетъ звукамъ ихъ различныя качества. Эти опыты поведутъ насъ къ пониманію нѣкоторыхъ законовъ музыки.

Всѣ звуки могутъ быть раздѣлены на двѣ большія группы. Именно они бываютъ простые звуки и сложные звуки

Опытъ 102.—Простой звукъ есть такой, въ которомъ ухо не можетъ отличить двухъ или нѣсколькихъ звуковъ различной высоты. Держите одинъ изъ вашихъ вибрирующихъ камертоновъ надъ резонансовымъ стаканомъ, подстроеннымъ подъ него закрытіемъ части его отверстія стекляною пластинкою, какъ показано въ Опытѣ 43. Вы теперь слышите простой звукъ, въ которомъ ухо можетъ открыть звукъ только одной высоты. Широкая закрытая органная трубка даетъ также простой звукъ. Всѣ простые звуки необходимо имѣютъ одинаковое качество, потому что они различаются только по высотѣ и силѣ.

Сложный звукъ есть звукъ состоящій изъ двухъ или нѣсколькихъ простыхъ звуковъ, которые всѣ имѣютъ различную высоту. Таковы звуки, издаваемые фортепіан-

ною струною. Можетъ быть, вы удивитесь, если вамъ сказать, что ударъ по клавишу, который можетъ заставить вибрировать только одну струну, производитъ однако нѣсколько звуковъ. Однако это такъ.

Опытъ 103.—Ударьте по фортепіанному клавишу c″, и заставьте вибрировать вашъ камертонъ c″. Хотя на письмѣ оба эти звука обозначаются одною и тою же нотою, однако ваше ухо тотчасъ же замѣчаетъ разницу между нотами. Затѣмъ остановите вниманіе на звукѣ издаваемомъ однимъ камертономъ. Запомните хорошенько этотъ звукъ, и ударьте c″ на фортепіано. Вы теперь сразу узнаете, что c″ камертона есть звукъ фортепіаннаго c″; но послѣ нѣкотораго упражненія ухо начинаетъ слышать другіе звуки въ фортепіанномъ c″—звуки, которые очевидно выше, чѣмъ звукъ камертона c″.

Камертонное c″ конечно есть самый громкій простой звукъ слышный въ фортепіанномъ c″ и въ то же время самый низкій; поэтому сложный звукъ издаваемый фортепіано обозначается на письмѣ тою же самою нотою, которою обозначается и камертонное c″.

Но что же такое эти высшіе звуки примѣшанные къ этому c″? Я сначала отвѣчу на вопросъ самымъ общимъ образомъ, затѣмъ вы сами должны будете произвести опыты, которые отвѣтятъ на вопросъ лучше, чѣмъ мои слова.

Всѣ сложные музыкальные звуки образуются изъ простыхъ, и эти простые звуки суть звуки гармонической серіи. Вы уже знакомы съ этими звуками. Вы уже знаете, что относительныя числа вибрацій производящихъ ихъ суть 1:2:3:4:5:6 и проч. Самый низшій звукъ (1) изъ этой серіи называется основнымъ. Онъ также почти всегда самый громкій и потому сложный звукъ и называется его именемъ. Это есть звукъ камертоннаго c″ слышный также и въ фортепіанномъ c″.

Если сказанное мною вѣрно, то когда вы ударите

на фортепіано C ниже средняго C, тогда должны будутъ звучать одновременно и другіе звуки, которыя составляютъ гармоники C и обозначены здѣсь цифрами 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8 и слѣдующими нотами въ дишкантовомъ ключѣ. Опытъ 104 въ слѣдующей главѣ покажетъ, что это дѣйствительно такъ.



ГЛАВА XVII.

Анализъ и синтезъ звуковъ.

Опытный анализъ сложныхъ звуковъ фортепіано.

Опытъ 104. — Сядьте за фортепіано передъ клавишами и тихо но крѣпко прижмите внизъ клавишъ тона c′ обозначеннаго выше цифрою 2 и держите его. Демферъ сойдетъ со струны, молоточекъ поднимется, ударитъ въ проволоку и потомъ упадетъ.

Струна можетъ теперь свободно вибрировать. Затѣмъ сильно ударьте основной тонъ c, обозначенный 1 и продержавши его нѣсколько секундъ, снимите палецъ. Струна перестаетъ вибрировать, но вдругъ до уха доходитъ высшій тонъ. Этотъ тонъ есть звукъ свободной струны, дающей тонъ 2. Этотъ опытъ показываетъ, что число вибрацій, дѣлаемыхъ тономъ 2 или c′, должно содержаться въ звукѣ тона c или 1, иначе струна c′ не могла бы начать вибрировать. Очевидно, струна c′ со-

вибрируетъ или созвучитъ простому звуку c′ содержащемуся въ сложномъ звукѣ основной ноты c или 1.

Теперь сдѣлайте подобные же опыты, нажимая по порядку клавиши тоновъ g′, c″, e″, g″, c‴, обозначенныхъ каждый цифрами 3, 4, 5, 6 и 8. Вы найдете, что струна каждаго изъ нихъ созвучитъ съ основнымъ звукомъ c, что показываетъ, что каждый изъ этихъ звуковъ существуетъ въ c фортепіано *).

Нѣкоторые изъ этихъ тоновъ будутъ звучать громче или тише чѣмъ другіе; а это показываетъ, что въ сложномъ звукѣ они существуютъ съ большею или меньшею силою. Этотъ фактъ доказываетъ, что качество звука зависитъ не только отъ числа простыхъ гармоническихъ звуковъ, его составляющихъ, но также и отъ ихъ отно-

*) Изъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ, звучащихъ на фортепіано вмѣстѣ съ основнымъ **c**, или д о, которое въ басовомъ ключѣ пишется между первой и второй линейкой, самые громкіе и явственно слышные суть слѣдующіе: c′ или д о первой октавы, которое въ дишкантовомъ ключѣ пишется на первой прибавочной линейкѣ внизу, g′ или с о л ь второй октавы, которое въ дишкантовомъ ключѣ пишется на второй линейкѣ и e″—м и третьей октавы, которое въ дишкантовомъ ключѣ пишется между 4 и 5 линейками. Нужно ударить сильно и нѣсколько разъ д о первой октавы, чтобы ухо привыкло къ нему, а затѣмъ ударить основное д о и тогда вмѣстѣ съ послѣднимъ слышно будетъ и д о второй октавы, которое продолжаетъ звучать и тогда, когда вы снимете палецъ съ основнаго д о. Затѣмъ нужно также нѣсколько разъ и сильно ударить с о л ь второй октавы, и потомъ ударить основное д о, вмѣстѣ съ которымъ слышится и с о л ь и слышится очень явственно. Тоже нужно продѣлать и съ м и. Эти же ноты, только октавой ниже, слышны будутъ довольно хорошо и тогда, если за основной тонъ взять басовое д о на второй прибавочной снизу. Другіе гармоническіе звуки, указанные въ текстѣ, почти неслышны, и чтобы услышать ихъ, нужно имѣть очень чуткое ухо и много практиковаться.—Чтобы яснѣе слышать верхніе тоны, нужно нажать пальцемъ клавишъ того тона, какой вы желаете услышать и тѣмъ освободить струну отъ демфера и въ это время другой рукой сильно ударить клавишъ основнаго тона. Примѣч. переводч.

сительной силы. Посредствомъ вычисленія можно показать, что если сложный звукъ состоитъ изъ 6 простыхъ гармоническихъ звуковъ, то вы можете, давая каждой гармоникѣ только двѣ разныя степени силы, произвести посредствомъ разныхъ комбинацій ихъ до 400 различныхъ качествъ звука; а съ 4 различными степенями силы, даваемыми каждой изъ 6 гармоникъ, ихъ комбинаціи могутъ дать болѣе 8000 различныхъ качествъ звука. Такимъ образомъ, вы видите, какъ могутъ быть разнообразны качества звуковъ, даже когда они содержатъ одни и тѣ же простые звуки.

Но не одни и тѣ же гармоники существуютъ во всѣхъ сложныхъ звукахъ. Звуки флейты могутъ содержать двѣ или три гармоники. Звуки кларнета состоятъ изъ основнаго тона и потомъ изъ 3-й, 5-й и 7-й гармоникъ. Звуки скрипки содержатъ всѣ гармоники до 7-й и даже до 10-й. Составъ фортепіанныхъ звуковъ измѣняется съ ихъ высотою. Болѣе низкіе тоны богаты гармониками, а высшіе бѣдны ими. Въ низшихъ октавахъ 3-й гармоники часто бываютъ столь же громки, какъ и основная гармоника, а 2-я даже громче. Язычки органныхъ трубъ весьма богаты гармониками; часто они простираются до 20-й и легко узнаются напрактикованнымъ ухомъ, которое можетъ выдѣлить изъ сложнаго звука одна за другою всѣ гармоники, такъ что остальные становятся для него почти неслышными. Человѣческій голосъ богатъ гармониками и очень разнообразенъ по качеству, какъ это мы всѣ знаемъ, слушая разныхъ пѣвцовъ. Качество измѣняется также и съ высотою издаваемаго тона, какъ это будетъ показано въ опытахъ съ вибрирующими пламенами Кёнига (см. Опытъ 112 и слѣдующіе).

Опыты, въ которыхъ мы производимъ сложные звуки различныхъ качествъ, соединяя разные простые звуки.

Опытъ 105.—Флейтовый звукъ можно произвести, соединяя простой звукъ съ его октавой. Слѣдующій опытъ

очень удачно производитъ его: вы нашли, что столбъ воздуха въ трубѣ, равняющейся четверти длины звуковыхъ волнъ, издаваемыхъ камертономъ, усиливаетъ своими совибраціями звукъ камертона. Если вы сдѣлаете столбъ воздуха въ трубѣ только въ одну осьмую длины волны, то онъ будетъ созвучать октавѣ камертона, потому что столбы воздуха въ трубахъ (какъ показано выше, стр. 111) слѣдуютъ тому же закону вибраціи, какъ натянутыя проволоки и струны, т. е. что частота ихъ вибрацій увеличивается прямо пропорціонально укороченію воздушнаго столба.

Длина воздушнаго столба, резонирующаго на камертонъ A, есть $7^2/_3$ дюймовъ (19,47 центиметровъ). Втолкните пробку въ стеклянную трубку (см. Опытъ 78) настолько, чтобы получился столбъ воздуха въ одну половину этой длины или 3,83 дюйма (9,73 центиметра). Затѣмъ вибрируйте камертонъ и поднесите его къ отверстію трубки. Раздается чистый звукъ, подобный флейтовому. Онъ состоитъ изъ тона A камертона, соединеннаго съ его октавой, даваемой резонансовой трубкой. Надлежащимъ образомъ измѣняя разстояніе камертона отъ трубки и отъ уха, вы послѣ нѣсколькихъ попытокъ получите звукъ, который трудно отличить отъ звука флейты.

Опытъ 106.—Звуки человѣческаго голоса также можно составить изъ простыхъ звуковъ, употребляя со-вибраціи фортепіанныхъ струнъ.

Откройте крышку фортепіано. Ударьте какой нибудь клавишъ и затѣмъ пойте тонъ, произведенный имъ, до тѣхъ поръ, пока не увѣритесь, что вашъ тонъ имѣетъ одинаковую высоту съ тономъ фортепіано. Нажмите педаль, такъ чтобы всѣ демферы поднялись со всѣхъ струнъ, затѣмъ наклонитесь надъ струнами и ясно и ровно запойте тотъ вашъ тонъ. Затѣмъ остановитесь и слушайте. Фортепіано отвѣчаетъ на ваше пѣніе и звукъ вашего голоса слышится какъ бы идущимъ съ нѣкото-

раго разстоянія. Каждая струна, которая настроена одинаково съ какой нибудь гармоникой въ вашемъ голосѣ, со-вибрируетъ съ этой гармоникой и такимъ образомъ струны фортепіано издаютъ всѣ гармоники вашего голоса. Комбинація всѣхъ этихъ со-вибрацій составляетъ качество вашего голоса и отражаетъ вамъ его.

Опытъ 107.—Если вы снова запоете тотъ же тонъ и будете нажимать одинъ за другимъ клавиши его гармоникъ, какъ это мы дѣлали въ другихъ нашихъ опытахъ съ фортепіано, то можете найти, какія гармоники составляютъ вашъ голосъ, и составить нѣкоторое понятіе объ ихъ относительной силѣ.

Опытъ 108.—Если заиграть надъ освобожденными отъ демферовъ струнами фортепіано на рожкѣ, на кларнетѣ или на нашей игрушечной трубѣ, или на другомъ какомъ нибудь инструментѣ, то ихъ звуки будутъ анализированы со-вибраціями этихъ струнъ. Тогда звуки струнъ сливаются въ одинъ сложный звукъ, составляющій воспроизведеніе звука того инструмента, который привелъ струны въ движеніе.

Такимъ образомъ мы видимъ, что каждый музыкальный звукъ, издаваемый голосомъ или инструментомъ, состоитъ изъ основного тона, соединеннаго съ извѣстнымъ числомъ гармоникъ.

Ваше не напрактиковавшееся ухо не всегда можетъ выдѣлить ихъ каждую отдѣльно изъ смѣси звука. Однако же онѣ существуютъ, производя тѣ нѣжныя и тонкія качества, которыми характеризуются разные звуки въ природѣ и музыкѣ.

Какимъ образомъ ухо анализируетъ сложные звуки на ихъ простые звуки.

Опыты съ фортепіано объясняютъ удивительную способность уха анализировать сложные звуки. Въ улиткѣ (С фиг. 4) уха, какъ предполагаютъ, находятся со-виб-

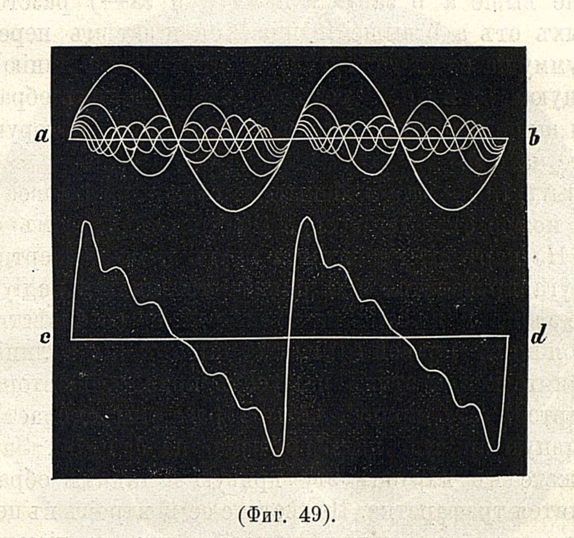
рирующія волокна, которыя настроены въ одинъ тонъ съ простыми звуками, составляющими нѣсколько октавъ. Къ каждому изъ этихъ резонансовыхъ волоконъ прикрѣплено волокно слуховаго нерва. Простой звукъ образуется только маятникообразной вибраціей. Сложный звукъ есть ощущеніе, произведенное нѣсколькими маятникообразными вибраціями различной частоты, вмѣстѣ входящими въ ухо. Если одна маятникообразная вибрація входитъ въ ухо, то вибрируетъ нервъ, прикрѣпленный къ волокну, которое настроено въ одинъ тонъ съ этой маятникообразной вибраціей, и мы имѣемъ ощущеніе простого звука.

Но когда входитъ въ ухо сложная вибрація, состоящая изъ нѣсколькихъ простыхъ маятникообразныхъ вибрацій, то она дѣйствуетъ на нѣсколько резонансовыхъ волоконъ, совершенно такъ же, какъ нашъ голосъ, или звуки рожка и трубы дѣйствуютъ на нѣсколько фортепіанныхъ струнъ. Каждое волокно въ ухѣ приходитъ въ вибрацію вмѣстѣ съ той маятникообразной вибраціей въ сложномъ звукѣ, которая настроена одинаково съ нимъ. Такимъ образомъ впечатлѣніе сообщается нервнымъ нитямъ, которыя прикрѣплены къ волокнамъ въ ухѣ, настроеннымъ одинаково съ простыми звуками, содержавшимися въ сложномъ звукѣ, и ощущеніе послѣдняго анализируется этимъ способомъ на свои простыя звуковыя ощущенія. Сказанное нами тотчасъ же вызываетъ вопросъ: какого же рода движеніе имѣетъ частица воздуха, когда на нее дѣйствуютъ въ одно и то же время нѣсколько маятникообразныхъ вибрацій? На это отвѣчаетъ

Опытъ, который показываетъ движеніе частицы воздуха или точки на барабанной перепонкѣ уха, когда на нихъ дѣйствуютъ соединенныя маятникообразныя вибраціи первыхъ шести гармоникъ.

Мы видѣли въ Опытѣ 11, что маятникообразное движеніе можетъ быть получено, если двигать карту со

щелью надъ синусоидальнымъ слѣдомъ вибрирующаго прута. Вообразимъ себѣ подобную же линію, произведенною точкой, движеніе которой состоитъ изъ соединенныхъ вибраціонныхъ движеній первыхъ шести гармоникъ. Такая линія представлена на линіи с d, фиг. 49.



(Фиг. 49).

Опытъ 109. — Если двигать надъ этой линіей, въ направленіи с d, карту со щелью, то вы увидите въ щели такое же точно вибрирующее движеніе, только болѣе медленное, какое имѣетъ точка барабанной перепонки уха, когда мы слышимъ сложный звукъ (подобный звуку фортепіанной струны), который содержитъ первые шесть гармоникъ. Читатель конечно помнитъ, что направленіе длины щели есть направленіе, въ которомъ идетъ по воздуху звуковая вибрація.

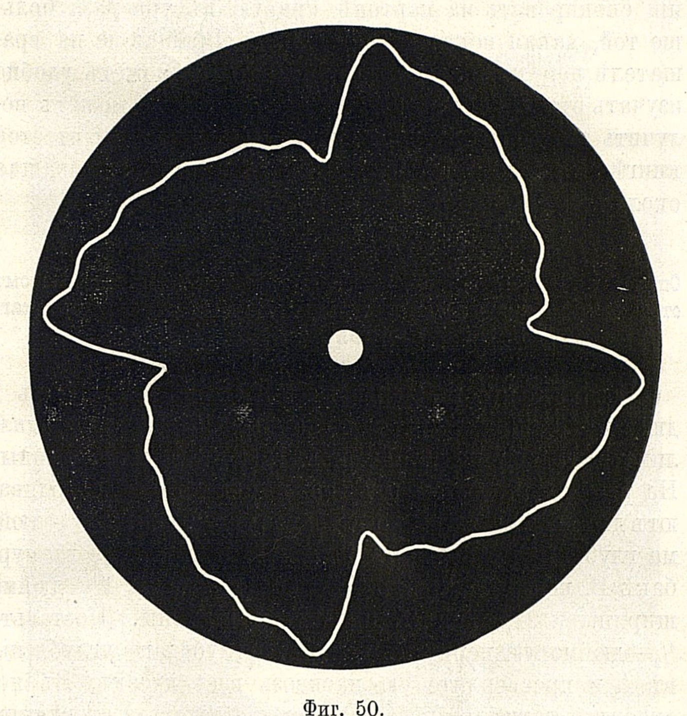
Кривую с d я получилъ слѣдующимъ образомъ: провелъ по линіи a b шесть синусоидовъ, длины которыхъ относились между собою какъ 1:2:3:4:5:6. Внизу и

параллельно ab была проведена другая линія, и затѣмъ черезъ кривыя на a b было проведено 500 равно отстоящихъ линій перпендикулярныхъ къ a b и продолженныхъ ниже линіи c d. На каждой изъ этихъ вертикальныхъ линій я взялъ алгебраическую сумму (считая разстояніе выше a b за +, а ниже a b за—) разстояній кривыхъ отъ a b выше и ниже ея и затѣмъ перенесъ эту сумму на соотвѣтствующую вертикальную линію проходящую черезъ c d. Черезъ найденныя такимъ образомъ точки выше и ниже c d я провелъ кривую, которую вы видите на c d.

Опытъ 110.—Это любопытное сложное звуковое движеніе можно отлично воспроизвести слѣдующимъ образомъ. На картонѣ проводится кругъ и въ четверти этого круга проводится 500 равно отстоящихъ радіусовъ. Дайте этимъ радіусамъ различную длину сооотвѣственно разстояніямъ кривой (фиг. 49) выше и ниже линіи cd. Соедините концы этихъ радіусовъ кривою. Повторивши на картонѣ эту кривую четыре раза, вы сдѣлаете непрерывную кривую, какъ показано на фиг. 50. Затѣмъ вырѣжьте въ картонѣ эту кривую и такимъ образомъ получится трафаретка. Помѣстите ее центромъ къ центру на стекляный кружокъ, имѣющій футъ въ діаметрѣ и покрытый непрозрачнымъ чернымъ лакомъ. Раздвинутыми ножками циркуля обойдите вокругъ краевъ трафаретки и такимъ образомъ сцарапайте лакъ, чтобы отъ этого получилась извилистая лента, какъ показано въ фиг. 50.

Стекляный кружокъ укрѣпляется на вращателѣ и помѣщается между геліостатомъ и плоско-выпуклой чечевицей. Такимъ образомъ на экранѣ получается увеличенное изображеніе части кривой стоящей передъ геліостатомъ. Затѣмъ близко къ кружку и по направленію его радіусовъ помѣщается кусокъ картона, въ которомъ прорѣзана узкая щель. При вращеніи кружка вы уви-

дите на экранѣ вибраціонное движеніе, подобное тому, какое имѣютъ частица воздуха или точка на барабанной перепонкѣ уха, когда на нихъ дѣйствуютъ соединенныя



Фиг. 50.

маятникообразныя вибраціи первыхъ шести гармоникъ музыкальнаго тона.

Когда кружокъ вращается медленно, то можно легко слѣдить за сложнымъ вибраціоннымъ движеніемъ свѣтоваго пятна на экранѣ. При быстромъ же вращеніи диска пятно растягивается въ свѣтовую полосу; но эта полоса освѣщена не одинаково. Она имѣетъ 6 отдѣль-

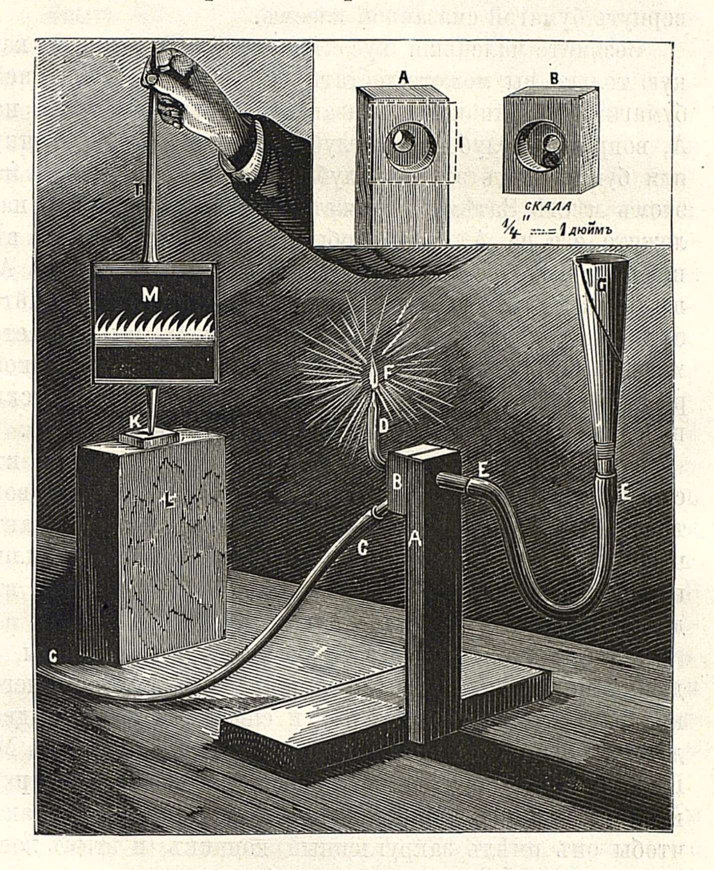
ныхъ свѣтлыхъ пятенъ, прекрасно показывающихъ шесть изгибовъ въ кривой кружка.

Опытъ 111.—Однако читателю можно и не тратиться на покупку стекляннаго кружка. Онъ конечно въ состоянiи скопировать на картонѣ кривую въ три раза больше той, какая показана на фиг. 50. Вращая ее на вращателѣ передъ щелью въ картонѣ, онъ можетъ удобно изучать это любопытное движенiе. Онъ даже можетъ получить это движенiе прямо при помощи фигуры въ этой книгѣ, вставивши булавку въ центрѣ фиг. 50 и вращая около нея карту съ тонкою щелью.

Опыты, въ которыхъ сложные звуки анализируются посредствомъ отраженiя во вращающемся зеркалѣ вибрацiй манометрическаго пламени Кенига.

Возьмите кусокъ деревянной доски А, фиг. 51, въ 1 дюймъ (25 миллиметровъ) толщины, $1^1/_2$ дюйма (38 миллиметровъ) ширины и 9 дюймовъ (29,8 центиметра) длины. На разстоянiи дюйма отъ верхняго конца просверливаютъ дюймовой перкой не глубокое углубленiе въ $^1/_8$ дюйма глубины. Просверлите подобное же углубленiе въ чурбакѣ В, который имѣетъ $^3/_8$ дюйма толщины, $1^1/_2$ дюйма ширины и 2 дюйма (5 миллиметра) длины. Поставьте $^1/_2$—дюймовую перку въ центрѣ неглубокаго углубленiя въ А и просверлите ею насквозь весь кусокъ. Въ полученное такимъ образомъ отверстiе вставьте стеклянную или металлическую трубку, какъ показано въ Е. Просверлите въ неглубокомъ углубленiи въ В наклонно маленькую дыру въ $^3/_{16}$ дюйма (5 миллиметровъ) и вставьте въ нее стеклянную трубку С. Затѣмъ просверлите прямо въ неглубокомъ углубленiи въ В другую такую же дыру въ $^3/_{16}$ дюйма. Затѣмъ держите въ пламени газа или спиртовой лампы стеклянную трубку и нагрѣйте ее до-красна на разстоянiи около двухъ дюймовъ отъ ея

конца. Затѣмъ вытяните въ этомъ мѣстѣ трубку, такъ чтобы образовалась изъ нея узенькая шейка. Сдѣлайте напилкомъ поперечный надрѣзъ въ этомъ мѣстѣ и быст-



Фиг. 51.

ро сломайте трубку въ мѣстѣ этого надрѣза. Потомъ нагрѣйте трубку по серединѣ и согните ее подъ прямымъ угломъ, какъ показано въ D, фиг. 51. И въ такомъ видѣ

вставьте ее во вторую прямую дыру въ B, какъ показано въ D. Чтобы всѣ трубки держались твердо и прочно, ихъ слѣдуетъ, прежде чѣмъ вставлять въ ихъ мѣста, обвернуть бумагой смазанной клеемъ.

Возьмите маленькій кусокъ тончайшей резинки, какую только вы можете достать, или листокъ тончайшей бумаги изъ тряпокъ и, смазавши клеемъ всѣ мѣста на A, вокругъ неглубокаго углубленія, растяните резинку или бумагу надъ этимъ углубленіемъ и приклеите ее на этомъ мѣстѣ. Затѣмъ намажьте клеемъ кусокъ B и наложите его на A, такъ чтобы неглубокое углубленіе въ немъ приходилось какъ разъ надъ углубленіемъ въ A; прижмите ихъ одинъ къ другому и туго обмотайте ихъ вокругъ бичевкой. Такимъ образомъ вы сдѣлаете маленькій ящикъ, раздѣленный на два отдѣленія тонкой резинкой. Прикрѣпите доску A къ боку другой доски побольше, такъ чтобы она могла стоять вертикально.

Прикрѣпите кусокъ толстой каучуковой трубки къ стекляной трубкѣ E и въ другой конецъ каучуковой трубки вставьте конусъ, свернувши листъ картона, такъ чтобы изъ него образовался конусъ въ 8 дюймовъ длины и съ отверстіемъ въ 2 дюйма (51 миллиметръ) въ діаметрѣ.

Далѣе возьмите кусокъ дерева въ 1 футъ длины, 4 дюйма ширины и $^1/_4$ дюйма толщины. Вырѣжьте изъ него квадратъ, такъ чтобы сверху и снизу у него были два длинныхъ выступа вродѣ палокъ, какъ показано въ M. Нижняя изъ этихъ палокъ коротка, а верхняя сверху квадрата длинна. Обрѣжьте конецъ нижней палки, такъ чтобы онъ имѣлъ закругленный кончикъ, и этимъ кончикомъ сдѣлайте весьма неглубокую ямочку въ плоскомъ деревянномъ кускѣ K, такъ чтобы палка съ квадратомъ могла вертѣться въ ней. Наклеите этотъ кусокъ на короткое ребро кирпича L. Затѣмъ достаньте двѣ пластинки тонкаго посеребреннаго стекла, каждая

въ 4 дюйма въ квадратѣ и прикрѣпите ихъ по обѣимъ сторонамъ квадрата, М, привязавши ихъ шнуркомъ, обвитымъ кругомъ нижняго и верхняго краевъ зеркалъ.

Опытъ 102.—Помощью каучуковой трубки проведите газъ къ С.; онъ пойдетъ въ лѣвое отдѣленіе ящика и будетъ выходить въ F, гдѣ вы и зажгите его. Затѣмъ поставьте нижнюю палку квадрата въ неглубокую ямочку въ К и держите зеркало вертикально, такъ чтобы вы могли видѣть въ серединѣ его отраженіе пламени F.

Держите палку отъ зеркалъ вертикально и медленно крутите ее между большимъ пальцемъ и указательнымъ, который долженъ направляться внизъ, а не горизонтально, какъ показано на рисункѣ. Пламя представляется въ зеркалѣ вытянутымъ въ полосу свѣта съ ровнымъ верхнимъ краемъ. Не переставая вращать зеркало, поднесите конусъ ко рту и запойте въ него. Звуковыя вибраціи войдутъ въ отдѣленіе А ящика и, ударяя въ тонкую резинку, будутъ выпячивать ее впередъ и втягивать назадъ. Когда она выпячивается впередъ, то газъ выталкивается изъ другого отдѣленія В ящика и пламя F подпрыгнетъ вверхъ. Когда же листъ резинки вибрируетъ назадъ, то онъ всасываетъ газъ въ ящикъ В и пламя опускается внизъ. Такимъ образомъ, при пѣніи въ конусъ, вы увидите въ зеркалѣ, что ровный верхній край свѣтовой полосы разорвется на мелкіе языки или зубчики пламени, и каждый зубчикъ будетъ соотвѣтствовать дѣйствію одной вибраціи на резинковую перегородку.

Поставьте надъ пламенемъ ламповое стекло, чтобы оно не колыхалось отъ движенія воздуха производимаго вращающимся зеркаломъ, и смотрите за тѣмъ, чтобы пламя не было высоко.

Опытъ 113.—Другой способъ показать вибраціи пламени состоитъ въ томъ, чтобы зажечь струю газа на концѣ стекляной трубки вставленной въ конецъ каучукой

трубки надѣтой на F. Вращайте трубку по вертикальному кругу, и вы будете имѣть неразрывное, цѣльное свѣтовое кольцо; но какъ только вы запоете въ конусъ, это кольцо разрывается на нѣсколько свѣтлыхъ точекъ, а иногда измѣняется въ гирлянду красивыхъ маленькихъ свѣтовыхъ цвѣтковъ, похожихъ на незабудку. Чтобы произвести этотъ опытъ, вамъ нужна будетъ трубка съ большимъ отверстіемъ чѣмъ въ F.

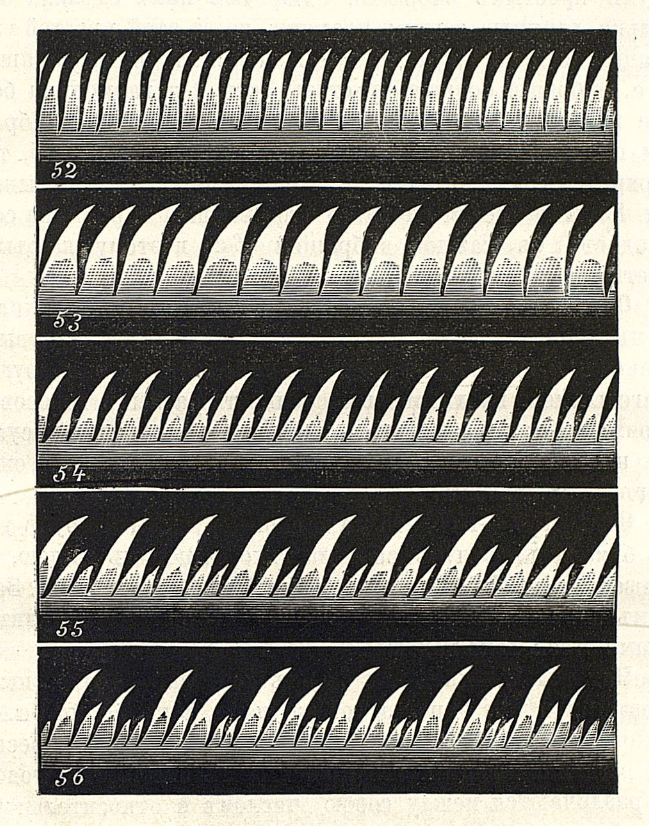
Этотъ инструментъ можетъ доставить вамъ нѣсколько часовъ удовольствія и поученія. Мы здѣсь можемъ показать вамъ только немного опытовъ по недостатку мѣста. Другіе опыты сами собою представятся вамъ, когда вы познакомитесь съ инструментомъ.

Опытъ 114. — Пойте въ конусъ звукъ *у*. Послѣ нѣсколькихъ попытокъ вамъ удастся произвести чистый простой звукъ и пламя получитъ такой видъ, какъ въ фиг. 52. Нѣкоторые голоса гораздо легче получаютъ эту фигуру, когда поютъ *и*.

Опытъ 115.—Вертя зеркало съ одинаковою скоростью, понижайте постепенно высоту звука *у*, пока не дойдете до его низшей октавы. Тогда пламя будетъ казаться какъ въ фиг. 53, съ половиннымъ числомъ зубчиковъ противъ 52, потому что низшая октава звука происходитъ отъ половиннаго числа вибрацій.

Опытъ 116. — Пойте гласный звукъ *о* на ноту *си бемоль*, которая въ дишкантовомъ ключѣ пишется ниже первой прибавочной линейки и съ *b*, и вы увидите въ зеркалѣ фиг. 54. Очевидно, это не такая фигура, которую могла бы дать простая вибрація. Она показываетъ, что этотъ звукъ *о* есть сложный, образовавшійся изъ двухъ простыхъ звуковъ, изъ которыхъ одинъ есть октава другого. Большіе зубчики произведены поперемѣнными вибраціями высшаго простаго звука дѣйствовавшими вмѣстѣ съ вибраціями низшаго; вслѣдствіе чего

пламя подпрыгивало выше, благодаря ихъ соединенному дѣйствію на резиновую перепонку.



Фиг. 52, 53, 54, 55 и 56.

Опытъ 117.—Фиг. 55 является въ зеркалѣ тогда, если пѣть *е* на ноту *фа*.

Опытъ 118.—Фиг. 56 является въ зеркалѣ тогда, если пѣть *е* на ноту *до*.

Разсмотрите внимательно фиг. 55. Она показываетъ что гласная *е* (англійское *a*) состоитъ изъ соединенія двухъ простыхъ вибрацій. Одна изъ нихъ сдѣлала бы только длинные язычки пламени; но съ этой простой вибраціей существуетъ другая, которая въ три раза чаще; т. е. вибрація большей частоты есть 3-я гармоника болѣе медленной вибраціи. Такъ какъ медленная вибрація, производящая длинные язычки пламени, есть *фа*, то верхняя должна быть *c''* или *до* второй октавы выше *фа*. Каждая третья вибрація этой высшей гармоники совпадаетъ съ каждой вибраціей *фа*; поэтому каждый третій языкъ пламени выше чѣмъ другіе.

Опытъ 119. — Подобнымъ же образомъ читатель долженъ анализировать фиг. 56 на ея простые звуковые элементы. Затѣмъ онъ долженъ при помощи вибрирующаго пламени изслѣдовать особенности разныхъ голосовъ своихъ пріятелей, и сдѣлать точные и аккуратные рисунки пламеней соотвѣтствующихъ имъ, такъ чтобы онъ могъ анализировать ихъ на досугѣ.

Опытъ 120.—Играйте на вашей игрушечной трубѣ въ въ бумажный конусъ сначала тихо, а потомъ сильно, и вы замѣтите, что звукъ издаваемый трубою сложенъ. Затѣмъ пойте въ конусъ звукъ *a* въ носъ и вы получите пламя нѣсколько похожее на то, какое даетъ труба.

Читатель увидитъ изъ своихъ опытовъ, что разныя лица при пѣніи одной и той же ноты, какъ бы ни были похожи между собою ихъ голоса, производятъ пламя весьма различной формы. Это происходитъ оттого, что голоса различаются между собою числомъ и относительною силой простыхъ звуковъ, изъ которыхъ они состоятъ.

Другая причина различныхъ формъ пламени получаемаго разными экспериментаторами заключается въ томъ, что они употребляли различной длины трубки, ведущія отъ конуса къ перепонкѣ.

Опытъ 121.— Этотъ фактъ легко доказать, если пѣть

одинъ и тотъ же сложный звукъ черезъ различной длины трубки, ведущія отъ конуса G къ перепонкѣ.

Опытъ Теркема, въ которомъ вмѣсто уха (какъ въ Опытахъ 68, 69 и 70) употребляется пламя Кенига и такимъ образомъ дѣлаются видимыми движенія вибрирующаго кружка.

Методъ анализированія движеній вибрирующей пластинки (какъ описано въ Опытахъ 68, 69 и 70) при помощи бумажнаго конуса и трубки, приставляемой къ уху, который уже давно былъ употребляемъ нами, былъ недавно примѣненъ къ пламени Кенига профессоромъ Теркемомъ въ Лиллѣ, который такимъ образомъ сдѣлалъ эти движенія видимыми для учащихся и далъ намъ прелестный опытъ.

Опытъ 122. — Если каучуковую трубку, употреблявшуюся для вставки въ нее конуса въ Опытахъ 68, 69 и 70, прикрѣпить къ трубкѣ E въ фиг. 51 вмѣсто того, чтобы прикладывать ее къ уху, то пламя Кёнига будетъ оставаться въ покоѣ, когда конусъ находится въ положеніи № 1 въ Опытѣ 68 или въ положеніи №3 въ Опытѣ 70. Вы нашли, что при этихъ положеніяхъ конуса звукъ не бываетъ слышенъ. Но когда отверстіе конуса находится въ положеніи № 2 въ Опытѣ 69, то пламя становится глубоко зазубреннымъ; а вы нашли въ опытѣ 69, что въ этомъ положеніи слышится громкій звукъ.

ГЛАВА XVIII.

О томъ, какъ мы говоримъ и о говорящихъ машинахъ Фабера и Эдисона.

Какъ мы геворимъ.

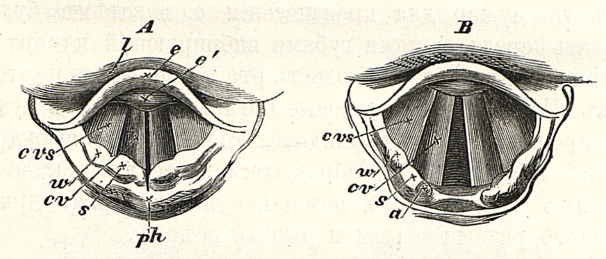
Небольшой музыкальный инструментъ, посредствомъ котораго мы поемъ и говоримъ, состоитъ изъ двухъ подвижныхъ перепонокъ, натянутыхъ рядомъ одна съ другою черезъ короткій въ видѣ трубки ящикъ, находящійся на верхнемъ концѣ дыхательнаго горла. Этотъ ящикъ сдѣланъ изъ хрящевыхъ пластинокъ, движущихся одна около другой и связанныхъ вмѣстѣ мышцами и перепонками.

Верхній конецъ дыхательнаго горла образуетъ большое хрящевое кольцо, называемое перстневиднымъ хрящомъ. Съ нимъ соединена широкая пластинка хряща, называемая щитовиднымъ хрящомъ. Этотъ хрящъ изогнутъ въ видѣ буквы V. Ножки этого V сидятъ верхомъ на перстневидномъ хрящѣ и соединены съ его наружными сторонами. Верхушка или остріе V направляется вверхъ и выставляется наружу противъ гортани. Вы можете ощупать его и оно называется «адамовымъ яблокомъ». Сзади верхняго края перстневиднаго хряща соединяются два небольшіе заостренные хряща, называемые черпаловидными. Отъ нихъ къ внутреннимъ бокамъ ножекъ V щитовиднаго хряща натянуты двѣ перепонки, по одной къ каждой ножкѣ. Это и есть голосовыя связки.

Когда остріе щитовиднаго хряща не оттягивается внизъ, тогда эти связки разслаблены и воздухъ дыханія изъ дыхательнаго горла проходитъ свободно между ними и не заставляетъ ихъ вибрировать (См. B въ фиг. 57).

Но когда остріе щитовиднаго хряща оттягивается внизъ его мышцами, тогда голосовыя связки натягиваются. Въ тоже время черпаловидные хрящи сближаются

и вслѣдствіе этого тонкіе и рѣзкіе края голосовыхъ связокъ становятся параллельно и очень близко одинъ къ другому, какъ показано въ А въ фиг. 57. Если теперь воздухъ съ силою прорывается черезъ эту узкую щель (называемую гортанною щелью), то голосовыя связки вибрируютъ совершенно также, какъ язычки въ нашей игрушечной трубѣ или какъ другіе язычки въ дру-



Фиг. 57.

А и В. Видъ сверху человѣческой гортани, какъ она представляется, если ее разсматривать въ инструментъ, называемый ларингоскопомъ: А въ томъ положеніи, когда есть звукъ голоса и В въ томъ положеніи, когда нѣтъ звука.—e надгортанникъ.—cv голосовыя связки.—cvs такъ называемыя ложныя голосовыя связки.—*a* возвышеніе произведенное черпаловиднымъ хрящемъ.—s,w возвышенія произведенныя малыми хрящами, соединенными съ черпаловиднымъ.—l корень языка.

гихъ трубахъ. Толчокъ воздуха прорывается между ними; они расходятся; потомъ тотчасъ же они сходятся и токъ воздуха останавливается. Затѣмъ они снова открываются, входитъ другой толчекъ воздуха въ полость рта, послѣ чего они опять запираются. Такимъ образомъ, гортанная щель открывается и закрывается съ частотою, зависящею отъ степени натяженія голосовыхъ связокъ.

Наши опыты съ пламенемъ Кёнига показали, какъ сложны звуки человѣческаго голоса. Качество голоса зависитъ отъ числа относительной силы простыхъ звуковъ, ихъ составляющихъ.

Рѣчь есть голосъ видоизмѣненный и модулированный движеніями частей полости рта, языка и губъ.

Полость рта можетъ сдѣлаться больше или меньше, длиннѣе или короче и такимъ образомъ резонируя на высшія или низшія гармоники голоса, дѣлаетъ другія гармоники слабо слышными.

Опытъ 123.—Если вы расположите ваши органы такъ, какъ это нужно для произнесенія *о*, и затѣмъ будете держать передъ вашими губами вибрирующій камертонъ А, то вы услышите, что полость рта резонируетъ на этотъ звукъ. Измѣнивши голосовые органы такъ, какъ нужно для произнесенія *и*, вы увидите, что резонанса не будетъ.

Всѣ гласные звуки образуются голосомъ, видоизмѣненнымъ посредствомъ резонанса полости рта, принимающаго разныя формы и разный объемъ.

Согласныя же образуются посредствомъ препятствій или задержекъ, дѣлаемыхъ при началѣ или при концѣ голосовыхъ звуковъ движеніями языка и губъ; но такъ какъ это книга опытовъ, то я предоставляю вамъ самимъ убѣдиться въ этомъ опытами.

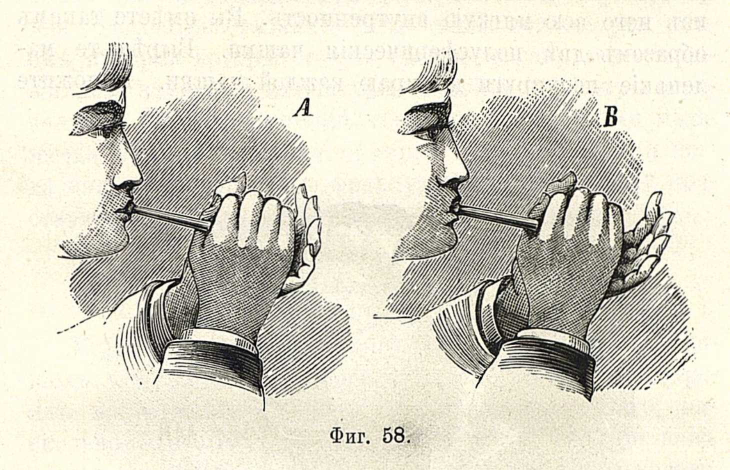
Опытъ съ говорящей игрушечной трубой и устройство говорящей машины.

Опытъ 124. — Пойте звукъ *а* и въ это время быстро откройте и закройте дважды ваши губы. Сдѣлавши эти двѣ задержки звука, вы этимъ самымъ скажете м а м а. Если вы будете внимательно наблюдать за движеніемъ вашего рта, то увидите, что для послѣдняго слога въ м а м а вы открываете вашъ ротъ шире и держите его открытымъ долѣе, чѣмъ для перваго слога.

Опытъ 125.—Вотъ и все, что намъ нужно знать для того, чтобы заставить говорить нашу игрушечную трубу. Вы уже видѣли, что ея звуки, подобно звукамъ человѣческаго голоса, образуются толчками воздуха. Они проходятъ чрезъ язычекъ всякій разъ, какъ онъ бываетъ

выше или ниже продолговатаго отверстія въ пластинкѣ, въ которомъ онъ вибрируетъ. Ваши опыты съ пламенемъ Кёнига показывали вамъ, что звуки голоса и трубы сходны между собою, что оба они въ высшей степени сложны.

Затѣмъ представимъ себѣ, что роль нашихъ голосовыхъ связокъ играетъ вибрирующій язычекъ трубы. Чтобы сдѣлать резонансовую полость подобную рту, сложи-



Фиг. 58.

те ваши руки такъ, какъ показано въ A на фиг. 58. Въ эту полость, образованную руками, помѣстите отверстіе трубки, мундштукъ которой долженъ выходить изъ отверстія между большимъ пальцемъ и указательнымъ. Губы нужно сдѣлать изъ пальцевъ одной руки. Когда мы будемъ отводить эти пальцы больше или меньше отъ другой руки, то получимъ большее или меньшее отверстіе полости между ладонями рукъ и этимъ способомъ произведемъ членораздѣльность.

Теперь дуйте въ трубу такъ, какъ будто бы вы говорили въ нее мама, т. е. чтобы вы заставили ее зву-

чать дважды, причемъ каждый звукъ продолжался бы столько, какъ звуки ма и мà. Дѣлая первый звукъ, поднимите пальцы такъ высоко, какъ показано въ А; а при второмъ звукѣ поднимите ихъ такъ, какъ показано въ В. Труба говоритъ и произноситъ мама довольно явственно.

Опытъ 126.—Теперь мы можемъ сдѣлать себѣ говорящую машину. Возьмите толстокожій апельсинъ и разрѣжьте его пополамъ. Затѣмъ вырѣжьте и выцарапайте изъ него всю мягкую внутренность. Вы имѣете такимъ образомъ двѣ полусферическія чашки. Вырѣжьте маленькіе полукруги въ краю каждой чашки. Наложите



Фиг. 59.

ихъ такъ, чтобы одна вырѣзка приходилась надъ другою, и вы получите отверстіе, черезъ которое можетъ выставляться изъ апельсина конецъ трубки съ мундштукомъ. Затѣмъ сшейте вмѣстѣ обѣ чашки, за исключеніемъ пространства, приходящагося противъ трубки, потому что это будутъ губы. Сдѣлайте вашей куклѣ изъ чего

нибудь носъ и глаза, надѣньте на нее чепчикъ, и затѣмъ постарайтесь заставить ее говорить ма-ма (фиг. 59).

Говорящая машина Фабера.

Эти простые опыты показываютъ вамъ принципы, на основаніи которыхъ построена знаменитая говорящая машина Фабера въ Вѣнѣ. Вибрирующій язычекъ изъ слоновой кости, дающій тоны разной высоты, служитъ въ ней голосовыми связками. Есть въ ней полость рта, объемъ и форма которой могутъ быстро измѣняться отъ нажиманія клавишей клавіатуры. Резинковый языкъ и резиновыя губы производятъ согласныя. Маленькая мельничка, вращающаяся въ ея горлѣ произноситъ *р*; а когда машина говоритъ по французски, то къ ея носу приставляется трубка.

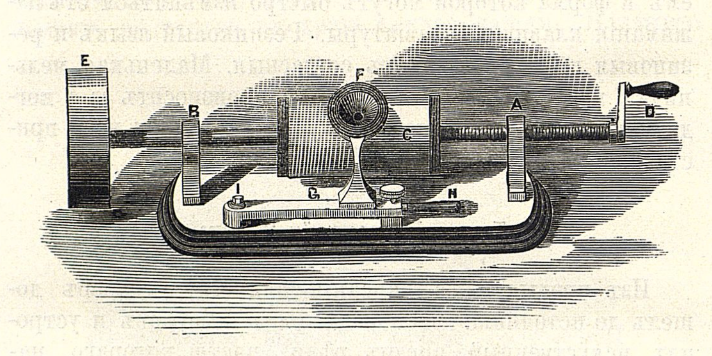
Говорящій фонографъ Эдисона.

Изъ предыдущаго описанія видно, что Фаберъ дошелъ до источника членораздѣльныхъ звуковъ и устроилъ искуственный органъ рѣчи, части котораго, насколько возможно, совершали тѣ же самыя функціи, какъ и соотвѣтствующіе имъ органы въ нашемъ голосовомъ аппаратѣ. Фаберъ взялся за задачу съ ея физіологической стороны. Совершенно иначе дѣйствовалъ Эдисонъ. Онъ взялся за задачу не со стороны источника вибрацій, производящихъ членораздѣльную рѣчь; онъ остановился на вибраціяхъ уже готовыхъ, произведенныхъ какимъ бы то ни было образомъ, и устроилъ машину такъ, чтобы вибраціи сами отпечатывались на металлическомъ листѣ, и затѣмъ, чтобы эти отпечатки воспроизводили звуковыя вибраціи, сдѣлавшія ихъ.

Фаберъ разрѣшилъ задачу устройства говорящей машины тѣмъ, что сдѣлалъ искуственно причины вибра-

цій, производящихъ голосъ и рѣчь; Эдисонъ же разрѣшилъ ее, сдѣлавши искуственно механическія дѣйствія этихъ вибрацій. Фаберъ воспроизвелъ движенія нашихъ голосовыхъ органовъ; Эдисонъ же воспроизвелъ движенія совершаемыя барабанной перепонкой уха, когда на этотъ органъ дѣйствуютъ вибраціи, причиною которыхъ служатъ движенія голосовыхъ органовъ.

Фиг. 60 и 61 сдѣлаютъ понятнымъ устройство машины Эдисона. Цилиндръ F вращается на оси, кото-

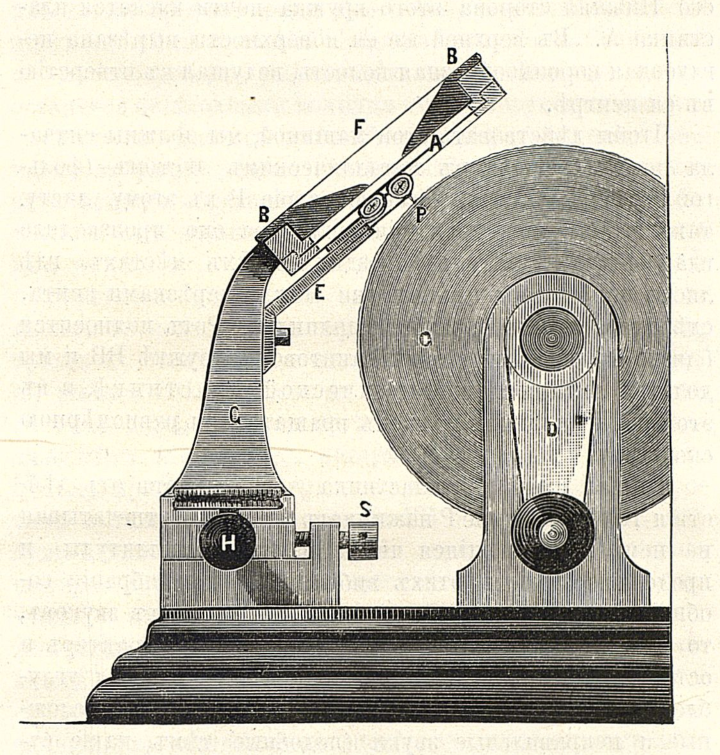


Фиг. 60.

рая проходитъ чрезъ двѣ стойки А и В. На одномъ концѣ этой оси находится рукоятка D, а на другомъ тяжелое маховое колесо Е. Часть этой оси вправо отъ цилиндра имѣетъ на себѣ винтовыя нарѣзки, которыя, проходя по гайкѣ въ А, заставляютъ цилиндръ двигаться вправо или влѣво, когда вращается рукоятка. На поверхности цилиндра нарѣзаны такіе же винтовые обороты, какъ и на его оси. Въ А находится желѣзная пластинка около $^1/_{100}$ дюйма толщины (Фиг. 61 въ $^1/_2$ естественной величины). Эту пластинку можно приближать къ цилиндру или удалять отъ него, приближая или от-

даляя отъ него рычагъ HG, вращающійся въ горизонтальной плоскости вокругъ штифта I.

Нижняя поверхность этой желѣзной пластинки (A, Фиг. 61) нажимаетъ на небольшіе куски каучуковой труб-



Фиг. 61.

ки X и X, которые лежатъ между пластинкой и пружиной, прикрѣпленной къ E. Къ концу этой пружины придѣлано закругленное стальное остріе P, которое, будучи придвинуто къ цилиндру движеніемъ рукоятки H,

входитъ свободно въ промежутки между винтовыми нарѣзками на цилиндрѣ C. Разстояніе этого острія P отъ цилиндра регулируется винтомъ S, который упирается въ рычагъ HG. Надъ желѣзной пластинкой A находится кружокъ изъ вулканита BB съ отверстіемъ въ центрѣ его. Нижняя сторона этого кружка почти касается пластинки A. Въ верхней же ея поверхности вырѣзана неглубокая воронкообразная полость, ведущая къ отверстію въ ея центрѣ.

Чтобы дѣйствовать этой машиной, мы должны сначала покрыть цилиндръ металлическимъ листомъ (фольгой); затѣмъ мы приближаемъ остріе P къ этому листу, такъ чтобы при вращеніи цилиндра оно производило вдавленную линію или бороздку въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ листъ покрываетъ промежутки между нарѣзками винта, сдѣланными на поверхности цилиндра. Ротъ подносится близко къ отверстію въ вулканитовомъ кружкѣ BB и мы должны говорить металлической пластинкѣ, и въ это время цилиндръ долженъ вращаться съ равномѣрною скоростью.

Тонкая желѣзная пластинка A вибрируетъ отъ дѣйствія голоса и остріе P нажимаетъ на листъ, отпечатывая на немъ измѣняющіяся числа, размахъ (амплитуды) и продолжительность этихъ вибрацій. Если вибраціи сообщаемыя пластинкѣ A состоятъ изъ простыхъ звуковъ, то они имѣютъ однородный правильный характеръ и остріе P выдавливаетъ правильно волнообразныя углубленія въ листѣ. Если же вибраціи производятъ сложные и неправильные звуки (подобные тѣмъ, какіе существуютъ въ голосѣ при говорѣ), тогда соотвѣтственно этому и углубленія производимыя въ листѣ сложны (подобно кривой въ фиг. 49) и неправильны. Такимъ образомъ принимающій вдавленія и неупругій металлическій листъ принимаетъ и удерживаетъ механиче-

скіе отпечатки этихъ вибрацій со всѣми ихъ мелкими и тонкими качествами и отличіями.

Однако нашъ Опытъ 121 научилъ насъ, что формы этихъ отпечатковъ измѣняются съ каждымъ измѣненіемъ разстоянія источника сложнаго звука отъ вибрирующей пластинки A, даже когда при этихъ различныхъ разстояніяхъ сложныя звуковыя вибраціи падаютъ на пластинку съ совершенно одинаковою силой. Поэтому всегда останутся безплодными попытки читать звуковыя письма.

Такимъ образомъ, мы имѣемъ теперь прочные отпечатки вибрацій голоса. Теперь слѣдуетъ только показать, какимъ образомъ только что описанная операція можетъ быть произведена въ обратномъ видѣ, т. е. какъ изъ этихъ отпечатковъ мы можемъ получить тѣ воздушныя вибраціи, которыя произвели ихъ. Ничего не можетъ быть проще. Пластинка A съ ея остріемъ P, отодвигается отъ цилиндра движеніемъ наружу рычага HG. Затѣмъ вы вертите цилиндръ обратно до тѣхъ поръ, пока вы не подведете подъ остріе P начало тѣхъ отпечатковъ, которые оно сдѣлало на листѣ. Потомъ придвиньте остріе къ цилиндру; поставьте противъ вулканитовой пластинки BB большой конусъ изъ бумаги или олова для усиленія звуковъ и затѣмъ равномѣрно и безостановочно вращайте рукоятку D. Углубленія и возвышенія, сдѣланныя остріемъ P, проходятъ теперь подъ этимъ же остріемъ и этимъ самымъ заставляютъ его, а съ нимъ и тонкую желѣзную пластинку снова повторять тѣже самыя вибраціи, которыя они дѣлали, когда оставляли на листѣ эти отпечатки отъ дѣйствія голоса. Слѣдствіемъ этого бываетъ то, что желѣзная пластинка возвращаетъ назадъ тѣ вибраціи, которыя прежде падали на нее, и она теперь повторяетъ то, что вы ей сказали.

ГЛАВА XIX.

Гармонія и дисгармонія. Краткое объясненіе, почему нѣкоторые тоны, звуча вмѣстѣ, производятъ пріятное, а нѣкоторые непріятное впечатлѣніе.

Если передъ заходомъ солнца вы гуляете по тѣневой сторонѣ за рѣшеткой, состоящей изъ вертикально стоящихъ столбиковъ, то удары солнечнаго свѣта поражаютъ ваши глаза всякій разъ, какъ вы находитесь въ промежуткѣ между двумя столбиками. Эти удары, слѣдующіе медленно другъ за другомъ, производятъ весьма непріятное ощущеніе въ глазахъ. Подобнымъ же образомъ, если въ ухо входятъ звуковыя удары или толчки, то они тоже производятъ непріятное впечатлѣніе. Такіе толчки входятъ въ ухо, когда мы слышимъ двѣ звучащія органныя трубки, два камертона или двѣ струны на сонометрѣ, которыя только очень немного разнятся между собою по высотѣ, т. е. настроены чуть чуть не въ одинъ тонъ. Какъ вы уже знаете (см. Опытъ 71), эти удары звука называются т о л ч к а м и. Вы знаете также, что число этихъ толчковъ совершающихся въ секунду равно разности въ числѣ вибрацій дѣлаемыхъ въ секунду двумя звучащими тѣлами. Такъ, если одно звучащее тѣло дѣлаетъ 500, а другое 507 вибрацій въ секунду, тогда будетъ слышно 7 толчковъ въ секунду,

Опытъ 127.—Съ вашею игрушечною трубою и кружкомъ, употреблявшимся въ опытѣ Руда относительно отраженія звука, фиг. 42, вы можете сдѣлать прекрасный опытъ, показывающій дѣйствіе толчковъ на ваше ухо. Играйте въ трубу и постепенно увеличивайте скорость вращающагося кружка. Сначала получающіеся такимъ

образомъ толчки могутъ быть слышны отдѣльно, и хотя дѣйствіе ихъ на ухо не особенно пріятно, однако ихъ все-таки можно выносить. Но по мѣрѣ того, какъ частота толчковъ увеличивается, непріятность ощущенія становится больше и больше и наконецъ дѣйствіе ихъ на ухо становится просто болѣзненнымъ.

Но если удары свѣта или толчки звука слѣдуютъ другъ за другомъ столь быстро, что ощущеніе одного удара или толчка продолжается до тѣхъ поръ, пока не послѣдуетъ другой, то вы получаете непрерывное впечатлѣніе, въ которомъ нѣтъ ничего непріятнаго. Другими словами, непрерывныя ощущенія пріятны, но прерывающіяся непріятны.

Если двѣ звуковыя вибраціи достигаютъ уха вмѣстѣ и производятъ непріятное ощущеніе, тогда мы можемъ быть увѣрены, что разность между числами ихъ вибрацій даетъ число толчковъ въ секунду, которые слѣдуютъ другъ за другомъ съ быстротою недостаточною для того, чтобы они слились въ ровное непрерывное ощущеніе. Другими словами, этихъ толчковъ бываетъ въ секунду такъ мало, что ощущеніе одного успѣетъ изчезнуть прежде, чѣмъ послѣдуетъ другой, и потому является ощущеніе диссонанса; но когда частота толчковъ увеличивается настолько, что ощущеніе одного сохраняется до появленія слѣдующаго, тогда получается непрерывное ощущеніе и мы говоримъ, что два звука гармоничны или составляютъ аккордъ

Изъ этого сразу же видно, что если мы найдемъ число толчковъ въ секунду нужныхъ для того, чтобы слились звуки отъ различныхъ частей музыкальной скалы, то будемъ въ состояніи напередъ сказать, какіе тоны, звуча вмѣстѣ, дадутъ гармонію, а какіе—диссонансъ.

При помощи многихъ опытовъ я нашелъ число толчковъ въ секунду, какое должны имѣть два звука, чтобы

быть въ гармоніи. Въ слѣдующей таблицѣ представлены немногіе изъ результатовъ моихъ опытовъ:

N	U	B	D
	64	16	$^1/_{16}$ =0,0625 секунды
c	128	26	$^1/_{26}$ =0,0384 "
c'	256	47	$^1/_{47}$ =0,0212 "
g'	384	60	$^1/_{60}$ =0,0166 "
c''	512	78	$^1/_{78}$ =0,0128 "
e'	640	90	$^1/_{90}$ =0,0111 "
g''	768	109	$^1/_{109}$=0,0091 "
e''	1024	135	$^1/_{135}$=0,0074 "

Столбецъ N даетъ названія тоновъ, производимыхъ числомъ вибрацій въ секунду, показаннымъ въ столбцѣ U. Физики обыкновенно начинаютъ съ тона обозначеннаго въ этой серіи c' и дающаго 256 вибрацій. Въ столбцѣ B приведены наименьшія числа толчковъ въ секунду, какія соотвѣствующій звукъ долженъ дѣлать съ другимъ звукомъ, для того чтобы онъ былъ съ нимъ въ гармоніи, или какъ вообще выражаются, чтобы могъ составлять съ нимъ ближайшій созвучный интервалъ. Если напр. 47 толчковъ въ секунду для c' сливаются, тогда ощущеніе каждаго изъ этихъ толчковъ продолжается въ ухѣ $^1/_{47}$ секунды. Въ столбцѣ D показаны времена этихъ продолженій въ доляхъ секунды. Такъ какъ эти доли означаютъ время, въ теченіи котораго сохраняются или продолжаются въ ухѣ звуковыя ощущенія уже послѣ того, какъ прекратились вибраціи воздуха близь барабанной перепонки уха, то они совершенно точно на-

зываются временами продолжающихся звуковыхъ ощущеній.

Изъ таблицы вы видите, что это время бываетъ тѣмъ короче, чѣмъ выше тонъ звука. Такъ, въ то время, какъ продолжительность сохраненія ощущенія C составляетъ $^1/_{16}$ секунды, эта продолжительность для c''' есть только $^1/_{135}$ секунды.

Воспользуемся же этимъ знаніемъ для производства нѣкоторыхъ вычисленій и опытовъ. Таблица показываетъ, что если c' звучитъ вмѣстѣ съ тономъ дѣлающимъ съ нимъ 47 толчковъ въ секунду, тогда эти толчки сольются въ одно ровное непрерывное ощущеніе, и эти тоны должны составлять аккордъ. Какой же это тонъ? Его можно найти такимъ образомъ: c' образуется 256 вибраціями въ секунду и тонъ, который сдѣлаетъ съ нимъ ровно 47 толчковъ въ секунду, долженъ дѣлать 256+47 или 303 вибраціи въ секунду. Это число вибрацій производитъ звукъ нѣсколько ниже e' съ бемолемъ. А это и есть малая терція c'.

Опытъ 128.—Если одинъ кто нибудь будетъ пѣть c', а другой въ тоже время будетъ пѣть e' бемоль, то вы найдете, что эти звуки составляютъ интервалъ гармоническій или аккордъ.

Опытъ 129.—Пойте c' и e' потомъ c' и g', и вы будете имѣть еще болѣе пріятныя и ровныя ощущенія.

Опытъ 130.—Но если кто нибудь одинъ запоетъ c', между тѣмъ какъ другой будетъ пѣть d', то вы будете имѣть рѣшительный диссонансъ, непріятное скребущее ощущеніе въ ухѣ. Причина этого сразу очевидна: c' дѣлаетъ 256 вибрацій въ секунду, между тѣмъ какъ d' дѣлаетъ ихъ 288, а 288—256 даетъ 32 какъ число толчковъ, происходящихъ въ секунду; но таблица показываетъ, что ихъ нужно 47 въ секунду, чтобы они могли слѣдовать другъ за другомъ достаточно быстро и потому сливаться между собою.

Дѣлая подобныя вычисленія для пяти октавъ, мы нашли ближайшіе созвучные интервалы для c' каждой октавы отъ C до c^{IV}. Они показаны въ слѣдующей табличкѣ. Изъ нея видно, что этотъ интервалъ сокращается по мѣрѣ того, какъ мы поднимаемся выше въ музыкальной скалѣ—фактъ, который установленъ прочно.

Ближайшій	созвучный	интервалъ	C	есть его	большая терція.
»	»	»	c	»	малая терція.
»	»	»	c'	»	мен. терція, меньше на $^1/_4$ полутона.
»	»	»	c''	»	мен. терція, меньше на $^1/_2$ полутона.
»	»	»	c'''	»	секунда.
»	»	»	c^{IV}	»	меньшая секунда, мен. на $^1/_2$ полутона.

Наши опыты по звуку привели насъ къ музыкѣ. Мы нашли, что основные факты и законы гармоніи могутъ быть объяснены физіологическими законами или правилами, по которымъ дѣйствуютъ наши ощущенія. Музыка есть послѣдовательность и сочетаніе звуковъ сообразно съ этими законами. Объясненіе многихъ изъ этихъ законовъ выше нашихъ силъ; потому-что для насъ все еще остается сокрытою связь, существующая между эстетикой, моральными чувствами и тѣми ощущеніями, которыя производятъ ихъ. Но можно ожидать, что въ будущіе далекіе вѣка человѣкъ разовьется до того, что будетъ находить удовольствіе въ томъ, чтобы проводить время въ:

«Распутываніи всѣхъ узловъ, которыми связана Сокрытая душа гармоніи.

КОНЕЦЪ.

	Р.	К.
И. П. Минаевъ. Очерки Цейлона и Индіи . . .	2	50
Фостеръ. Начальн й Практическій Курсъ Физіологіи, пер. С. В. Пантелѣевой	1	50
Одобренъ Уч. Ком. М. Н. Пр. «для фундаментальныхъ библіотекъ реальныхъ училищъ и учительскихъ институтовъ».		
А. Я. Гердъ. Краткій курсъ Естествовѣдѣнія; удостоенъ преміи императора Петра Великаго при четвертомъ присужденіи ея въ 1878 году, съ 173 рис. въ текстѣ	1	60
Одобренъ какъ учебное руководство для преподаванія Естествовѣдѣнія въ гимназіяхъ.		
А. Н. Бекетовъ. Питаніе человѣка въ его настоящемъ и будущемъ	—	50
Его же. Бесѣды о землѣ и тваряхъ на ней живущихъ; пересмотрѣнное изданіе и дополненное новыми политипажами; съ 18 рисунками въ текстѣ	—	80
В. А. Зайцевъ. Руководство Всемірной Исторіи. Древняя Исторія Востока. Съ 4 картами, 2 таблицами іероглифическихъ и клинообразныхъ письменъ и списковъ съ древнихъ алфавитовъ	2	—
Народы Турціи. Двадцать лѣтъ среди Болгаръ, Грековъ. Албанцевъ, Турокъ и Армянъ. Два тома, пер. съ англ. .	3	—
Роско. Химія. Перев. съ англійск. М. А. Антоновича. Изъ серіи первоначальныхъ учебниковъ. Второе изданіе. Рекомендована Учен. Ком. М. Н. Пр. «для ученическихъ библіотекъ низшихъ учебныхъ заведеній и учительскихъ семинарій»	—	40
И. Р Тархановъ. О психомоторныхъ центрахъ и развитіи ихъ у человѣка и животныхъ	1	—
Топинаръ. Антропологія. Пер. съ франц. подъ редакціею проф. И. И. Мечникова, съ 52 рис.	4	—
Боль. Опытная механика. Пер. съ англ. подъ ред. Н. Н. Любавина	3	—
В. А. Манассеинъ. Лекціи Общей Терапіи . . .	1	50
И. М. Сѣченовъ. О поглощеніи угольной кислоты кровью и соляными растворами	3	—
Зеттегастъ. Скотоводство, пер. подъ ред. О. А. Гримма. 2 т.	7	—
Гексли. Введеніе къ серіи первоначальныхъ учебниковъ, пер. М. А. Антоновича	—	40
С. Джевонсъ. Основы наукъ. Трактатъ о Логикѣ и Научномъ методѣ, пер. съ англ. М. А. Антоновича . . .	4	50

К. Р.

Майеръ. Звукъ. Рядъ простыхъ занимательныхъ, интересныхъ и недорогихъ опытовъ, имѣющихъ предметомъ явленія звука, пер. М. А. Антоновича . . . . 1 —

Оршанскій. Изслѣдованія по русскому праву 2 50

Серія первоначальныхъ учебниковъ, перев. съ англійскаго М. А. Антоновича.

Введеніе—Гексли, 40 к.; **Химія**—Роско, 40 к.;—**Физика** Бальфуръ Стюарта, 75 к.; **Физическая географія**—Гейки, 60 к.; **Геологія**—Гейки, 75 к.; **Физіологія**—Фостера, 75 к.; **Астрономія**—Локаера, 75 к.

ПЕЧАТАЮТСЯ:

Зайцевъ. Древняя Исторія Запада.

Рикардо. Полное Собраніе Сочиненій, пер. Н. И. Зибера.

А. Я. Гердъ. Учебникъ Зоологіи, часть II, Позвоночныя. Вып. 2-й.

Барухъ Спиноза. Этика, пер. съ латинскаго.

Ланге. Исторія матеріализма, пер. Н. Н. Страхова.

Клеркъ Максуэль. Матерія и движеніе. Пер. съ англ. М. А. Антоновича.

Курвуазье Домашній уходъ за больными. Пер. М. И. Ловцовой.

ПРИГОТОВЛЯЮТСЯ КЪ ПЕЧАТИ.

Воейковъ. О климатахъ земнаго шара.

Майеръ и Барнаръ. Свѣтъ. Изъ серіи популярныхъ руководствъ по экспериментальнымъ наукамъ, издаваемой въ Англіи подъ названіемъ «Nature Series».

Говель Капиталъ и трудъ въ Англіи. Пер. съ Англійскаго.

Гельвальдъ. Культурная Исторія.

Нѣсколько сочиненій изъ французской серіи Bibliotheque Utile.

Типографія Товарищества «Общественная Польза», Б. Подъяч., № 39.


2010515362